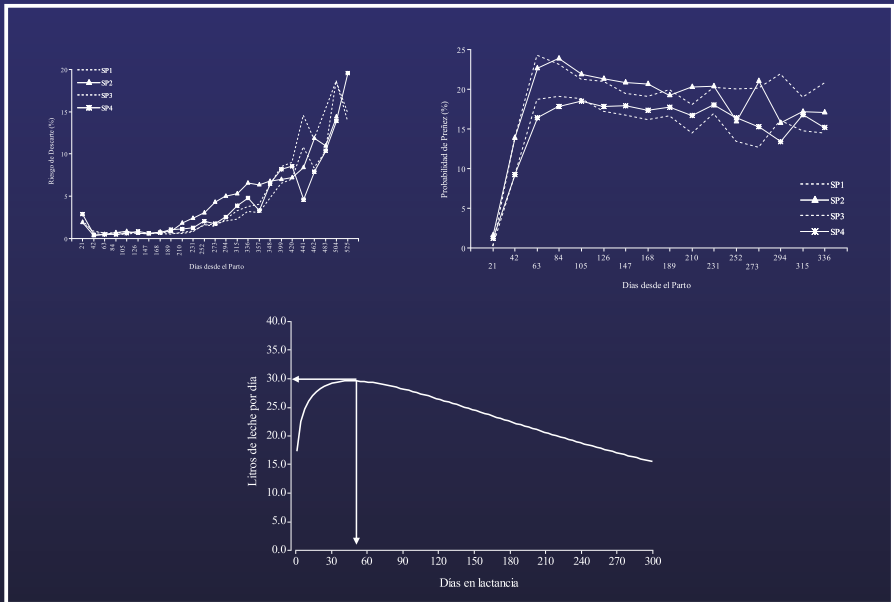


Monica Balzarini
(Comp.)

Estadística Aplicada

Mediciones en el Tambo Indicadores Productivos y Reproductivos



Mónica Piccardi
Cecilia Bruno
Mariano Córdoba
Fernando Masía
Mónica Balzarini

Mónica Piccardi
Cecilia Bruno
Mariano Córdoba
Fernando Masía
Mónica Balzarini

Mediciones en el Tambo. Indicadores

DISEMINACIÓN CIENTÍFICA Y TRASNFERENCIA DE
RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN, PROMOVIDAS POR
EL MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA
PROVINCIA DE CÓRDOBA

La cita bibliográfica para el presente documento

Piccardi M, Bruno C, Córdoba M, Masía F, Balzarini M. 2019.
Mediciones en el tambo. Indicadores productivos y reproduc-
tivos. Serie Estadística Aplicada. Com. Balzarini M. Brujas.
Córdoba, Argentina.

Mediciones en el tambo. Indicadores productivos y reproductivos. / Mónica
Piccardi ... [et.al.]. compilado por Mónica Balzarini.- 1a ed. – Córdoba:
Brujas, 2019. 120p. ; 25x17 cm.

ISBN 978-987-760-195-4

1. Agronomía. I. Piccardi, Mónica II. Balzarini, Mónica, comp.

CDD 630.7

©Piccardi Mónica; Bruno Cecilia; Córdoba Mariano; Masía Fer-
nando; Balzarini Mónica.

1 ° Edición

Primera Impresión

Impreso en Argentina

ISBN: 978-987-760-195-4

Queda hecho el depósito que prevé la ley 11.723

Queda prohibida la reproducción total o parcial de este libro en forma
idéntica o modificada por cualquier medio mecánico o electrónico in-
cluyendo fotocopia, grabación o cualquier sistema de almacenamien-
to y recuperación de información no autorizada por los autores.

A los hacedores de alimento

Índice general

Índice de tablas	VII
Índice de figuras	IX
Prólogo	XI
1 INDICADORES DE EFICIENCIA	1
1.1 ¿Qué son?	1
1.2 Lechería de Precisión	3
2 MONITOREO DE LA PRODUCCIÓN	7
2.1 ¿Cómo se mide la producción de las vacas en tambo?	7
2.2 Parámetros de curva de lactancia. Método gráfico	10
2.3 Parámetro de curva de lactancia. Método analítico	13
2.4 Indicadores de calidad de leche	16
2.5 Indicadores en sistemas automatizados de ordeño	18
3 MONITOREO DE LA REPRODUCCIÓN	23
3.1 ¿Por qué registrar los eventos reproduc- tivos?	23

3.2	¿Qué se necesita registrar?	24
3.3	Tablas de vida. Estimación de indicadores	31
3.4	Implementaciones del cálculo de indicadores en SAS	40
4	INDICADORES EN ACCIÓN	47
4.1	Modelo Bioeconómico	47
4.2	Datos de ilustración	48
4.3	Cálculo de indicadores para alimentar el modelo	49
4.4	¡Ahora sí, ajustemos el modelo!	57
4.5	Indicadores reproductivos	58
4.6	Indicadores productivos	66
4.7	Costos y valores de mercado	68
4.8	Retorno neto	71
4.9	Implementación del modelo bioeconómico	73
5	COMENTARIOS FINALES	79

Índice de tablas

2.1	Indicadores productivos	9
2.2	Registro de datos productivos	11
2.3	Indicadores en sistemas automatizados de ordeño	21
3.1	Registro de datos reproductivos en un año	27
3.2	Indicadores reproductivos	29
3.3	Variación del porcentaje de preñez según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 25 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez	32
3.4	Variación del porcentaje de preñez según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 20.5 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez	33
3.5	Variación del porcentaje de preñez según período de 21 días y número de lactancias	34
3.6	Variación del porcentaje de descarte según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 25 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez	35
3.7	Variación del porcentaje de descarte según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 20.5 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez	36

3.8	Variación del porcentaje de descarte según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 25 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez	37
3.9	Variación del porcentaje de descarte según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 20.5 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez	38
3.10	Variación del porcentaje de aborto según meses en gestación y número de lactancias	39
4.1	Registro de posibles escenarios de preñez .	51
4.2	Registro de posibles escenarios de descarte	53
4.3	Registro de posibles escenarios de mortandad	54
4.4	Registro de posibles escenarios de aborto .	57
4.5	Estimación de porcentajes promedios de mortalidad según el tipo de tambo para todas las lactancias	64
4.6	Valores de mercado, expresados en dólares estadounidenses, para la situación económica Argentina al mes de Marzo del año 2019	69
4.7	Parámetros para el cálculo del costo de la alimentación para un sistema de producción de 25 l/VO/día (us\$/kg. MS promedio).	70
4.8	Costos e ingresos por vaca por año (US\$/vaca/año) para cada tipo de tambo	72

Índice de figuras

2.1	Curva de lactancia típica	12
2.2	Parámetros de la curva de lactancia	12
3.1	Seguimiento de eventos reproductivos por vaca. Ilustración de 6 posibles resultados del monitoreo y registro desde el parto hasta los 315 días posparto.	26
3.2	Curvas de sobrevivencia estimadas por el método actuarial	42
3.3	Curva de riesgo estimadas (Hazard)	43
4.1	Seguimiento de eventos reproductivos por vaca. Ilustración de 6 escenarios posibles de preñez	50
4.2	Seguimiento de eventos reproductivos por vaca. Ilustración escenarios posibles de descarte	52
4.3	Seguimiento de eventos reproductivos por vaca. Ilustración escenarios posibles de aborto	56
4.4	Riesgo de preñez según la primera (A), segunda (B) y tercer (C) lactancia y tipo de tambo	60

4.5	Riesgo de descarte para la primera (A), segunda (B) y tercera lactancia (C) para todos los tipos de tambo.	63
4.6	Probabilidad de aborto para la primera (A), segunda (B) y tercera lactancia (C) para todos los tipos de tambo	65
4.7	Curvas de lactancia ajustadas para la primera (A), segunda (B) y tercera lactancia (C) para todos los tambos	67
4.8	Ingreso a la aplicación	73
4.9	Lectura de datos	74
4.10	Ingreso de indicadores reproductivos para estimar probabilidad de preñez	75
4.11	Ingreso de indicadores reproductivos para estimar probabilidad de aborto	75
4.12	Ingreso de indicadores reproductivos para estimar probabilidad de descarte	76
4.13	Ingreso de indicadores productivos	77
4.14	Ingreso de costos	78
4.15	Ajuste del modelo	78
4.16	Implementación del modelo bioeconómico. Resultados. Interpretación	78

Prólogo

El desarrollo y la utilización de nuevas tecnologías en la producción de leche permite capturar importantes volúmenes de datos diversos. Los controles lecheros, tanto en sistemas de producción convencionales como en los robotizados generan registros de cantidad y calidad de la producción, así como de la historia reproductiva de cada uno de los animales del tambo. La utilización efectiva de estos datos depende fuertemente de las capacidades para su análisis e interpretación.

En esta publicación se trata, en virtud de la multiplicidad de enfoques y análisis estadísticos disponibles, el problema de caracterizar y reflejar la eficiencia reproductiva y productiva de rodeos lecheros a partir de indicadores construidos desde datos del monitoreo que se realiza rutinariamente en un tambo. Bajo esta dimensión, los primeros capítulos se focalizan en qué son, para qué sirven y cómo se calculan los indicadores productivos y reproductivos asociados al funcionamiento de un tambo. También se propone aplicar e ilustrar el uso combinado de los indicadores reproductivos y productivos a través de un protocolo para estimar el costo reproductivo por vaca en el contexto de un modelo bioeconómico. Esperamos que su implementación sea provechosa para el desarrollo de la lechería y que, a partir de su uso, surjan nuevas preguntas que generen un medio propicio para explorar los desafíos y oportunidades del análisis de datos agropecuarios.

Los autores

INDICADORES DE EFICIENCIA

1.1 ¿Qué son?

Las medidas de eficiencia nos indica la cantidad de producto que resulta de un proceso orientado a transformar una cantidad determinada de ingreso o recurso y convertirlo en un elemento nuevo con apropiado retorno neto. Para poder interpretar una medida de eficiencia, es esencial conocer el propósito para el cual fue calculada y la expresión o procedimiento exacto empleado para su cálculo. Los indicadores métricos de la eficiencia se diseñan para cumplir al menos con dos propósitos fundamentales: 1) Comprensión o interpretación del funcionamiento de las interacciones entre variables biológicas, físicas y económicas involucradas en el sistema que se analiza y 2) Comparación, utilizados para contrastar procesos o sistemas con el mismo indicador de eficiencia. Los tambos y sus gestores utilizan información actualizada y reciente para monitorear su actividad y planificar acciones de impacto en el éxito del sistema productivo lechero. Esta información volcada en la forma de indicadores, debería reflejar fielmente lo que ocurre en el tambo, permitir ordenar los animales y también, servir de referencia para saber dónde se ubica cada establecimiento. Aún cuando la mayoría de los tambos obtiene registros sistemáticos, tanto de aspectos productivos como reproductivos, es raro que estos registros se usen para calcular tablas de indicadores, y cuando ésta se

realiza, la multiplicidad de protocolos de análisis estadístico impide el uso comparativo de los indicadores. Consecuentemente, es necesario unificar la forma de calcular e interpretar los indicadores productivos y reproductivos para que éstos se constituyan en herramientas de valor para la gestión de los tambos. Los indicadores de eficiencia en tambos deben mostrar en forma simple y didáctica los logros y objetivos de cada acción que se propone en un sistema de producción láctea para que éstas puedan ser fácilmente entendibles y evaluadas. Los indicadores reproductivos deben permitir hacer estimaciones precisas del comportamiento reproductivo global del rodeo lechero y de cada animal en el tambo y de la misma manera abordar la eficiencia en la producción de leche; deben ser fácilmente obtenibles y calculables a partir de datos que existan en el tambo; deben relacionarse con la rentabilidad de rodeo; y principalmente, deben ser fáciles de comprender por parte de las personas que tienen la responsabilidad de ejecutar las prácticas necesarias para cumplir con los objetivos del establecimiento lechero. Esos indicadores deben decirnos qué proporción del rodeo lechero está cumpliendo con los objetivos del sistema y qué proporción está fallando. Claro está mencionar que el bajo desempeño tanto productivo como reproductivo se traduce en pérdidas para los productores lecheros.

1.2 Lechería de Precisión

La tendencia mundial hacia la automatización de procesos para reducir esfuerzos físicos y costos ya ha alcanzado a la lechería. Si bien el desarrollo de herramientas para automatizar la producción y su registro, como por ejemplo los lactómetros electrónicos individuales, no es nuevo, el concepto “lechería de precisión” es bastante reciente y se relaciona con grandes volúmenes de datos de diverso tipo. El uso de tecnologías que permiten la medición de indicadores fisiológicos, de comportamiento y de producción en animales con el objetivo de mejorar las estrategias de manejo y el desempeño del ganado constituyen lo que hoy se denomina como ganadería de precisión (Borchers y Bewley, 2015). El adjetivo precisión mucho se relaciona con las tecnologías de monitoreo en tiempo real destinadas a gestionar la variabilidad de unidades de producción más pequeñas y manejable es decir con “el enfoque por animal” (Halachmi y Guarino, 2016). La ganadería de precisión comprende el uso coordinado de sensores para medir parámetros fisiológicos, de comportamiento y de producción en animales y las características del entorno de los establecimientos (temperatura, humedad, vientos) y de las tecnologías de información y comunicación para intercambiar, almacenar, transformar y restaurar estos datos a los productores para que, junto con sus propias observaciones, se cuente con un escenario de menor incertidumbre a la hora de la toma de decisiones. La ganadería de precisión aplicada a la producción de leche se conoce como la lechería de precisión, y en inglés como Precision Dairy Farming. Teniendo en cuenta que nuestra capacidad de observación para identificar animales enfermos, en celo o rengos es limitada, los principales objetivos de la lechería de precisión

son maximizar el potencial individual del animal, detectar tempranamente enfermedades y minimizar el uso de medicamentos mediante medidas preventivas. Por tanto, podemos decir que es inherentemente un campo interdisciplinario que incorpora conceptos de informática, bioestadística, etología, economía, ganadería, nutrición animal e ingeniería (Spilke y Fahr, 2003). En una primera instancia, las variables relacionadas con animales deben medirse y analizarse continuamente a un nivel y frecuencia apropiados con la ayuda de sensores. Estas variables incluyen peso vivo, cantidad de alimentos ingeridos, comportamiento ingestivo (masticación, rumia, frecuencia de bocados) y comportamiento social. También se pueden medir los parámetros fisiológicos (temperatura corporal y pH, composición de la leche y características físico-químicas). Posteriormente, debemos implementar un modelo predictivo confiable (calculado por un modelo estadístico) de las reacciones de los animales a las condiciones ambientales (dieta, clima, prácticas de manejo). Así, se tendría que poder identificar animales que tienen problemas y requieran particular atención. La utilidad de estas tecnologías no sólo resulta de la reducción de la carga de trabajo del productor, sino de la información constante y en tiempo real que pueden proporcionar y que permiten detectar situaciones anómalas de forma precoz, disminuir así el tiempo de respuesta y, con ello, reducir los costes derivados de tratamientos sanitarios más costosos, de la pérdida de producción o de la eliminación de animales irrecuperables. Los datos en tiempo real se pueden usar para monitorear animales y generar reportes. Esto es solo útil si se lo utiliza de manera efectiva en la toma de decisiones. Los sistemas de información computarizados e integrados son esenciales para interpretar las cantidades masivas de datos obtenidos. Para comprender este gran volumen de datos diversos es necesario también generar indicadores. Si bien

es incipiente la expansión de nuevas tecnologías de información en ganadería, con su desarrollo se van descubriendo nuevas aplicaciones dentro de la producción de leche. Además, debido a que estas tecnologías se adoptan mucho más rápidamente en otras industrias más grandes los costos de las tecnologías de base disminuyen. De esta manera, la generación de indicadores cuantitativos en áreas como la lechería se vuelve económicamente más factible. Es necesario tener especial atención a la transferencia de estas nuevas tecnologías de información ya que la mayor parte de las evaluaciones se realiza en entornos de investigación. Es necesario disminuir la brecha entre el impacto de estas tecnologías en la investigación en comparación con lo que sucede en establecimientos comerciales. El foco debe estar puesto en tratar de comprender y utilizar completamente la información proporcionada por la robótica de los procesos, de lo contrario solo se estarían generando datos que no colaborarían con volver más eficiente el sistema. Con la ayuda de un tipo de inteligencia artificial, como los algoritmos de aprendizaje automático, podemos encontrar patrones de comportamiento desde las grandes bases de datos (big data). De esta manera a medida que el sistema va trabajando, los datos en tiempo real se convierten en indicadores productivos y reproductivos que permitir evaluar qué tan lejos está la explotación real, del ideal alcanzable. Se puede combinar esta información con un algoritmo de optimización para saber exactamente que debemos modificar o ajustar en el proceso productivo. Por ejemplo, el algoritmo nos puede sugerir ajustar el contenido nutricional de la dieta o la cantidad de tiempo que cada vaca pasa comiendo. En síntesis, las tecnologías de información brindan enormes oportunidades para mejorar el manejo a nivel de cada vaca, algo que no es fácil de hacer en grandes rodeos. En el futuro, esta lechería de precisión,

cambiará la forma en que se manejan los establecimientos productivos.

MONITOREO DE LA PRODUCCIÓN

2.1 ¿Cómo se mide la producción de las vacas en tambo?

Se mide a partir de parámetros o características de la curva de lactancia que se construye en el seguimiento del animal con controles lecheros periódicos. La curva de lactancia es una función que refleja la dinámica del volumen (expresado en litros) de leche que da un animal durante un ciclo de lactancia (305 días aproximadamente – 10 meses). Para obtener esta información se realizan controles lecheros diarios con lactómetros o indicadores de producción, i.e. medición de los litros producidos por cada animal en el día. Los controles lecheros se repiten durante toda la lactancia y en las distintas lactancias de cada vaca. Algo a considerar, es que los datos derivados de los controles lecheros, aun cuando se dispone de información de un solo año, son cuantiosos en un tambo y si se analizan a nivel regional pueden sobrepasar el millar de registros. Por ejemplo, si suponemos que se hace un sólo control lechero por mes en 200 vacas en promedio durante un año se tendrán 2400 datos como resultado para un solo tambo (12 controles/año \times 200 vacas). Si queremos trabajar con la información de 200 tambos, la base de datos se agrandará a 480000 datos (filas) para solo un año y ésta contendrá sólo la información productiva del sistema. Si se suma la información relacionada al monitoreo reproductivo, el volumen de datos es definitivamente grande. Existen varios progra-

mas informáticos de gestión para el seguimiento productivo de los rodeos. Donde, se combina la funcionalidad de hojas de cálculos, base de datos y gráficos con un programa integrado para la administración de la información y la organización de las tareas, pero no presenta facilidades para el análisis estadístico inferencial. Es fundamental que en los tambos haya una estrategia informático-analíticas para convertir todos estos datos de producción de leche en indicadores productivos confiables y seguros para la mejor gestión del sistema. El conocimiento acabado del comportamiento de las curvas de lactancia es crucial para la toma de decisiones en un tambo (Macciota et al., 2005). Ésto no sólo a nivel promedio poblacional o a nivel del tambo, sino también a nivel de cada vaca (Vargas et al., 2000). La estimación de la curva lactancia provee parámetros que describen su forma, por ejemplo donde está el pico de producción o cuantos días en lactancia son necesarios para alcanzar ese pico, y son estos parámetros los que se usan como indicadores productivos. En la tabla 2.1 se presentan indicadores productivos de amplia difusión para la gestión de la producción láctea en tambos convencionales.

Tabla 2.1: Indicadores productivos

Indicador	Abreviatura	Significado
Días en lactancia totales	DELTot	Duración de la lactancia desde el parto hasta que la vaca se seca
Días en lactancia al pico	DELPico	Días desde que comienza una lactancia hasta el momento de máxima producción de leche para esa lactancia
Litros al pico	Lpico	Litros totales que se producen en el día de máxima producción de leche para esa lactancia
Litros acumulados a los 305 días en lactancia	L305DEL	Litros acumulados de leche a los 305 días de lactancia
Variación relativa entre ordeñes	VRO	Variación relativa entre ordeños diarios
Variación relativa entre controles lecheros	VRC	Variación relativa entre controles lecheros sucesivos

Para DELTot, el intervalo entre partos debe ser de 365 días, 305 días de lactancia y 60 días de vaca seca. Al calcular el indicador DELPico, es importante que el pico suceda dentro de un rango de días (40-60). Cabe destacar, que el pico de producción se encuentra afectado por la condición corporal al parto, el plano nutricional pre y post parto

entre otros factores. Al interpretar el indicador L_{pico} , se debe considerar que la producción de leche en este período condiciona la producción total de leche, ya que, por cada litro de leche producido en el pico de lactancia, la vaca produce aproximadamente 200 litros de leche en toda su lactancia. El indicador L_{305DEL} , se utiliza para clasificar a las vacas por niveles productivos. El indicador VRO es el cambio en la producción expresado en porcentaje que una lactancia presenta entre dos ordeños sucesivos, en donde el primero sirve como base y el segundo para comparar. La diferencia si es negativa no debe superar el 10 % porque nos estaría alertando de algún problema en el individuo. Finalmente, el indicador VRC , representa el cambio en la cantidad observada en la producción entre dos controles lecheros consecutivos utilizando el más antiguo como base y el que le sigue para comparar. Se expresa en porcentaje. La diferencia si es negativa no debe superar el 10 % porque nos estaría alertando de algún problema en el individuo.

2.2 Parámetros de curva de lactancia. Método gráfico

Para obtener indicadores productivos derivados de la curva de lactancia, es necesario armar una tabla de datos con al menos cuatro columnas. La primera que indique con algún código a la vaca (RP), la segunda columna debe indicar el número de lactancia a la que corresponde los datos que se guardará (N_{Lac}), en la tercera columna se debe indicar los días en lactancia en los que se registró la producción diaria (DEL), y por último en la cuarta columna debe tener la producción diaria registrada para cada control lechero (litros/día) (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Registro de datos productivos

RP	NLac	DEL	Litros_dia
1007	1	27	20.8
1007	1	56	25.0
1007	1	87	23.4
1007	1	119	24.4
1007	1	152	26.8
1007	1	181	22.6
1007	1	214	23.9
1007	1	242	22.6
1007	1	273	15.7
1007	1	304	19.2
1014	1	15	11.1
1014	1	26	20.7
1014	1	55	27.8
1014	1	86	24.8
1014	1	118	22.8
1014	1	151	23.2
1014	1	180	21.1
1014	1	213	21.6
1014	1	241	21.1
1014	1	272	20.0
1014	1	303	20.2

Si se grafica un diagrama de dispersión indicando a la variable litros/día como el eje Y, y los días en lactancia (DEL) como el eje X, se debería lograr una gráfica como la de la Figura 2.1.

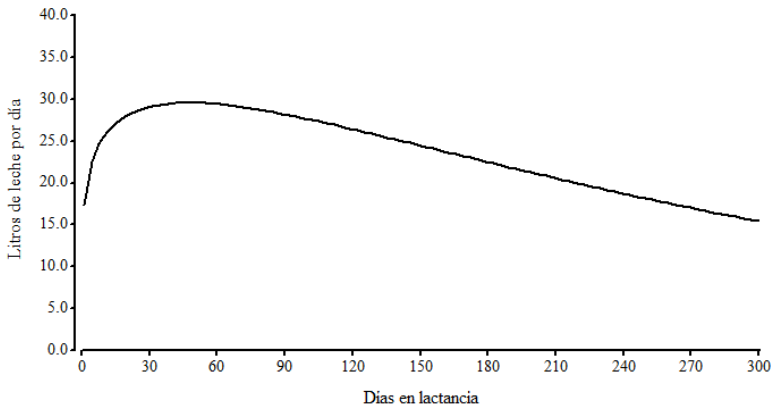


Figura 2.1: Curva de lactancia típica

De una curva de lactancia como la Figura 2.1 podemos conocer, al menos aproximadamente, cuáles el valor de los parámetros de la curva, como la ordenada al origen, los litros al pico y los días en lactancia al pico de producción (Figura 2.2).

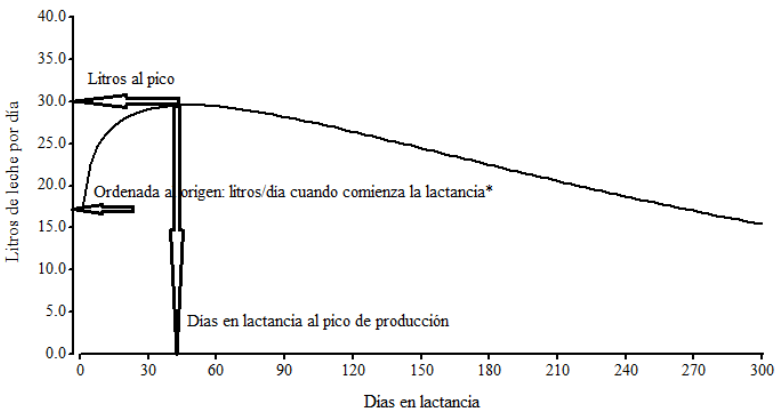


Figura 2.2: Parámetros de la curva de lactancia

2.3 Parámetro de curva de lactancia. Método analítico

Se han propuesto varias funciones matemáticas para el ajuste de las curvas de lactancia, que difieren en el tipo de función (lineal o no lineal) y en el número de parámetros de la ecuación de los modelos matemáticos para la curva. La función gamma incompleta propuesta por Wood (1967) (Ecuación (2.1)), con tres parámetros, es uno de los modelos más populares y vigentes al día de la fecha para describir las curvas de lactancia. La ecuación del modelo es la siguiente:

$$Y(t) = at^b e^{-ct} \quad (2.1)$$

donde $Y(t)$ es la producción de leche en el día t de la lactancia, a es un parámetro que representa la producción al comienzo de la lactancia; b y c parámetros asociados al crecimiento y decrecimiento de las pendientes de la curva de lactancia. Las curvas de lactancia típicas tienen valores positivos de b y c . Los litros al pico (L_{pico}) (Ecuación (2.2)) y los días en lactancia al pico (DEL_{pico}) (Ecuación (2.3)) son calculados como:

$$L_{pico} = a \left(\frac{b}{c} \right)^b e^{-b} \quad (2.2)$$

$$DEL_{pico} = \frac{b}{c} \quad (2.3)$$

Otro modelo ampliamente usado en lechería es el modelo MilkBot propuesto por Ehrlich (2011) (Ecuación (2.4)). La ecuación del modelo es la siguiente:

$$Y(t) = a \left(1 - \frac{e^{\frac{c-t}{b}}}{2} \right) e^{-dt} \quad (2.4)$$

donde $Y(t)$ es la producción de leche en el día t de la lactancia. Esta función consta de 4 parámetros; el parámetro a llamado escala el cual es un multiplicador que determina la magnitud total de la producción de leche y se expresa en L/d. El parámetro b , rampa, que controla la velocidad del incremento de la producción de leche en la lactancia temprana y se expresa en días. El parámetro c , desplazamiento, representa el desplazamiento en tiempo entre el momento del parto y el momento en que se da la mayor tasa de incremento en la producción de leche; se expresa en días. Por último, el parámetro d o decaimiento, el cual controla la pérdida de la capacidad productiva y se expresa como das^{-1} . Utilizando dichos parámetros (a , b , c y d) se puede calcular los DELpico (Ecuación (2.5)) y los Lpico (Ecuación (2.6)) a través de las siguientes expresiones:

$$DELpico = -b \ln \left(\frac{2db}{bd + 1} \right) + c \quad (2.5)$$

$$Lpico = a \left(1 - \exp \left(\frac{c - \left(c \log \left(\frac{2bd}{1+bd} \right) \right)}{b} \right) \right) \exp \left(-d \left(c - b \log \left(\frac{2bd}{1+bd} \right) \right) \right) \quad (2.6)$$

Estos modelos y muchos otros (Piccardi et al., 2018), permiten obtener al menos el dato de la producción al pico, del momento del pico y los litros de leche totales obtenidos en un periodo fijo (usualmente 305 días) desde cada lactancia para cada animal. La observación de diferencias en las

curvas de lactancias es crucial para identificar acciones a tomar con cada animal y para conocer el comportamiento promedio del rodeo. El uso de regresión cuantílica permite obtener estimadores de los parámetros de la curva de lactancia, no solo para la curva de un animal tipo o promedio, sino también para animales que representan cuantiles o muy bajo o muy altos en la población. Por ejemplo, animales que pertenecen al grupo del 5 % de menor productividad, o entender la curva de lactancia de animales elite o que se encuentran en los cuantiles superiores de la población (Younesi et al., 2018).

2.4 Indicadores de calidad de leche

Se entiende por leche de calidad a la proveniente del ordeño de vacas sanas, bien alimentadas, libre de olores, sedimentos, sustancias extrañas y que reúne las siguientes características:

1. Cantidad y calidad apropiada de los componentes sólidos (%grasa butirosa, %proteína y otros);
2. Con un mínimo de carga microbiana;
3. Libre de toxinas, residuos químicos e inhibidores y bacterias causantes de enfermedades;
4. Con un mínimo conteo de células somáticas (SCC).

La calidad de leche puede ser composicional, higiénica y sanitaria. La composicional comprende a los componentes sólidos de la leche, entre otros, el porcentaje de grasa butirosa (%GB) y proteínas (%P) por kg de sólidos que contiene la leche cruda. La calidad sanitaria se puede evaluar a través del conteo de células somáticas (SCC) entre otras cosas. Este indicador, el SCC, es utilizado para monitorear la inflamación de la glándula mamaria. El SCC es el criterio más ampliamente aceptado para medición de la sanidad de la ubre y calidad de leche en los países productores de leche más importantes a través del mundo (Patel & Blankennagel, 1971). A nivel de la vaca, el SCC es usado para determinar si una vaca o cuarto individual es mastítico y la probabilidad que la vaca o cuarto esté infectado (Patel & Blankennagel, 1971). La Mastitis se clasifica comúnmente en formas subclínicas, clínicas y crónicas, todas las cuales causan problemas importantes de bienestar animal. La Mastitis Clínica es una inflamación de la ubre o

glándula mamaria que generalmente es causada por bacterias (Enterobacteriaceae, Staphylococcaceae o Streptococcaceae) (Bradley, 2002) y tiene un alto impacto económico asociada con las pérdidas de producción, el tratamiento veterinario y la tasa de descarte. Un valor de referencia para SCC de 250000 parece ser un estándar útil indicativo que la leche de vacas individuales es mastítica (250000 ó más) o fisiológicamente normal (menor a 250000). El interés y la adopción de sistemas de ordeño automatizados, en inglés, automatic milking system (AMS), han creado la necesidad de detectar de manera rápida y confiable vacas con Mastitis Clínica. Algunos robots de AMS ya han incorporado equipos de detección y monitoreo de la leche (por ejemplo, conductividad eléctrica (CE), rendimiento de la leche, tasa de flujo de la leche, ordeño incompleto, temperatura de la leche, patrones de ordeño). Ya se ha trabajado para desarrollar algoritmos que utilicen e integren estos datos capturados durante el proceso de ordeño para desarrollar un indicador de alerta más preciso de la presencia de Mastitis Clínica (Rutten et al., 2013). Hay estudios que afirman la existencia de una correlación positiva entre la producción de leche y el contenido de %GB, %P a nivel genético y fenotípico (Dechow et al., 2007). Por lo tanto, así como se puede conocer de manera acabada el comportamiento de las curvas de lactancia, se puede describir y predecir el comportamiento del %GB, %P, y el CCS (Silvestre et al., 2005). De esta manera, se puede utilizar los métodos de ajustes de curvas descriptos anteriormente, gráfico o analítico, para extraer los parámetros de las curvas de cada uno de estos indicadores de calidad y observar picos y días al pico de estas variables.

2.5 Indicadores en sistemas automatizados de ordeño

La adopción de sistemas automatizados y la utilización de nuevas tecnologías basadas en sensores mejora la eficiencia en el manejo de grandes rodeos (Gargiulo et al., 2018). Los sistemas automatizados de ordeño fueron presentado por primera vez, comercialmente, en 1992 en Europa. Actualmente, más de 15000 establecimientos comerciales en todo el mundo que operan con AMS (Rodenburg et al., 2017). A pesar de tener un desarrollo incipiente, en Argentina el número aumenta año tras año. Los sistemas de ordeño automatizado generalmente operan con el tráfico voluntario de vacas, donde las vacas pueden moverse por el establecimiento sin requerir de intervención humana para desplazarse hasta el lugar donde se encuentra la unidad de ordeño. Además, los eventos de ordeño se distribuyen a lo largo del día y la noche, eliminando la necesidad de horarios o turnos de ordeños definidos. Como principal incentivo para lograr motivar a las vacas a movilizarse a través del sistema se utiliza la alimentación (Prescott et al., 1998). Esto es clave para los AMS, ya que el éxito de la operación se basa en la motivación de las vacas para visitar las instalaciones de ordeño regularmente.

2.5.1 Capacidad y rendimiento del sistema

Teniendo en cuenta la gran inversión de capital inicial requerida para adquirir un robot, es crucial para los productores optimizar la cantidad de leche ordeñada por robot (kg o L leche/robot/día) para lograr el mayor rendimiento económico de la inversión (Sonck y Donkers, 1995). La cantidad de leche obtenida por robot es el resultado del número de ordeños realizados por AMS por día y de la

producción alcanzada en cada uno de ellos. De esta manera, altos niveles de utilización del robot, definidos como la cantidad total de tiempo que el robot esta efectivamente ordeñando (generalmente expresado como porcentaje de un periodo de 24 horas), es un objetivo para la mayoría de los productores que operan con sistemas de AMS (John et al., 2016). Como el robot no está disponible para realizar ordeños durante el periodo completo de 24 horas (se requiere algo de tiempo para el mantenimiento técnico, el lavado del sistema), el nivel superior de utilización varía entre 20 y 22 horas por día (Lyons et al., 2014; John et al., 2016; Halachmi, 2004). Para obtener altos niveles de utilización del robot se requiere un flujo de vacas constante y uniformemente distribuido durante el día y la noche (Van Dooren et al., 2004), evitando de esta manera tiempos de espera excesivamente largo. La utilización del robot y, por lo tanto, la cantidad de producción obtenida por robot se ve afectado por factores relacionados a la alimentación (sistema de alimentación, cantidad de alimentos y tiempo asignado), al animal (temperatura, estado fisiológico, dinámica del rodeo, apetito), factores de manejo (tamaño del rodeo, distancia entre los comederos y la sala de ordeño, numero de vacas por robot) (John et al., 2016) y factores ambientales (condiciones climáticas). Existen principalmente tres estrategias para maximizar el número de ordeños: aumentar el número de veces que cada vaca visita el robot (siempre que la producción individual también se incremente), aumentar el número de vacas por robot y/o una combinación de ambas estrategias (Pettersson et al., 2011). Si bien el número de animales en el rodeo no es fácil de cambiar a corto plazo y está algo predeterminado en el día a día, el aumento de los ordeños por vacas puede ser el foco de las decisiones de manejo a corto plazo. Enfocarse en los animales de mayor prioridad: aquellas vacas que respondan más a una disminución en el intervalo entre

ordeños probablemente tendrán un mayor impacto en la producción de leche por robot. Indicadores de eficiencia en AMS independientemente del contexto en el que los productores toman decisiones de manejo, cuando se analiza el sistema productivo en su conjunto, las practicas que se ejecuten tendrán un impacto directo en varios indicadores productivos. Uno de los conceptos principales del desarrollo de tecnologías como el AMS es el de no tener que disponer tiempo para una tarea rutinaria como el ordeño. Esto no significa que los gestores de los establecimientos lecheros tengan menos trabajo. Además de dedicarle tiempo a las tareas como la alimentación, la sanidad del rodeo, deben, a través de computadora, monitorear informes y alertas generados a diario por el software. De esta manera se podrán tomar decisiones de gestión adecuadas a través del monitoreo del desempeño de las vacas individuales y del sistema en su conjunto. En Tabla 2.3 se describen los indicadores de producción mas importantes para sistemas de ordeño automatizados.

Tabla 2.3: Indicadores en sistemas automatizados de ordeño

Indicador	Definición	Objetivo
Frecuencia de ordeño	Número de ordeños por vaca en 24 h.	>2ordeños/vaca/d
Intervalo de ordeño	Tiempo entre dos ordeños consecutivos en horas	<12h(60 %) <16h(85 %) <20h(95 %)
Tiempo de espera en el corral	Tiempo entre ingreso al corral de espera y comienzo del ordeno en horas.	<2h/ordeno promedio del rodeo <1 h
Ordeños por día	Números de ordeños/d que cada robot puede alcanzar	150–170 ordeños/d. Robot jaula. 1200–1600 ordeños/d. Robot calesita
Ordeños incompletos	Número de ordeños incompletos por fallas en la colocación de pezonera o remoción prematura.	<10 % de los ordeños diarios
Utilización del robot	Proporción de 24 h que el robot está realizando tareas de ordeño	>85 % tiempo diario ordeñando en lavado y <10 % tiempo libre

MONITOREO DE LA REPRODUCCIÓN

3.1 ¿Por qué registrar los eventos reproductivos?

El control reproductivo es una de las principales tareas técnicas que se requieren en los tambos no solo para ser eficiente, sino también para maximizar el potencial de producción y capacidad reproductiva de cada vaca. El registro y el monitoreo de los eventos reproductivos son determinantes para establecer estrategias y planes preventivos para incrementar el aprovechamiento de la capacidad reproductiva. El uso del registro computarizado, el manejo de la detección del celo, los servicios, la evaluación de los vientres y el análisis reproductivo preventivo son piezas claves para gestionar las acciones técnicas y estratégicas para mejorar la eficiencia y la capacidad de producir más leche.

3.2 ¿Qué se necesita registrar?

1. Detalles de la vaca/vaquillona: el código numérico o alfanumérico que la identifica (RP), fecha de nacimiento, raza y cualquier observación adicional pertinente.
2. Detalles de los partos o abortos: RP de la madre, número de parto o aborto, fecha del parto o aborto, RP de la cría, sexo de la cría, parto asistido o normal, problemas de salud y cualquier observación adicional pertinente.
3. Detalles de los servicios: RP de la hembra, fecha del servicio, técnica utilizada (inseminación, toro, transferencia embrionaria), RP toro y cualquier observación adicional pertinente.
4. Detalles de los tactos o controles veterinarios: RP de la hembra, fecha del tacto o control, resultado, tiempo de gestación estimado, fecha probable de parto y cualquier observación adicional pertinente.
5. Detalles referidos a rechazos, descartes, muertes y ventas: RP de la hembra, fecha del evento, motivo del evento y cualquier observación adicional pertinente.

Algo importante a tener en cuenta es que se necesita una planilla computarizada de datos para almacenar y/o acceder a sus registros en tiempo real. Esto se refiere a que se debe hacer la elección de algún programa de gestión. Debe ser fácil de usar para los operarios y técnicos del tambo como también tener en cuenta si los registros se pueden traspasar y/o intercambiar fácilmente con otros programas de gestión. En la Figura 3.1 se puede observar

de manera ilustrativa 6 casos diferentes de monitoreo y registro de eventos reproductivos consecutivos. El primer escenario describe la situación donde una vaca tiene un parto, a los 84 días se la observa enferma y termina muriéndose a los 126 días posparto. En el segundo escenario, una vaca tiene un parto, a los 84 días se la detecta como preñada, a los 126 días se registra que ha abortado y permanece vacía a 168 días y finalmente, es descartada del rodeo a los 210 días posparto. En el tercer escenario expuesto, una vaca sufre el mismo proceso que la vaca del escenario dos hasta los 168 días posparto, pero a los 210 días posparto la registran preñada nuevamente. En el cuarto escenario, se registra a una vaca preñada a los 84 días y permanece así hasta que debe ser secada a los 315 días posparto. En el quinto escenario, una vaca luego del parto no vuelve a preñarse y por lo tanto es descartada a los 168 días posparto. Finalmente, en el sexto escenario, se muestra un caso de una vaca que por algún motivo permanece vacía hasta los 315 días posparto sin ser descartada. En la Tabla 3.1 se ilustra cómo podrían registrarse los 2 primeros escenarios en una planilla de datos.

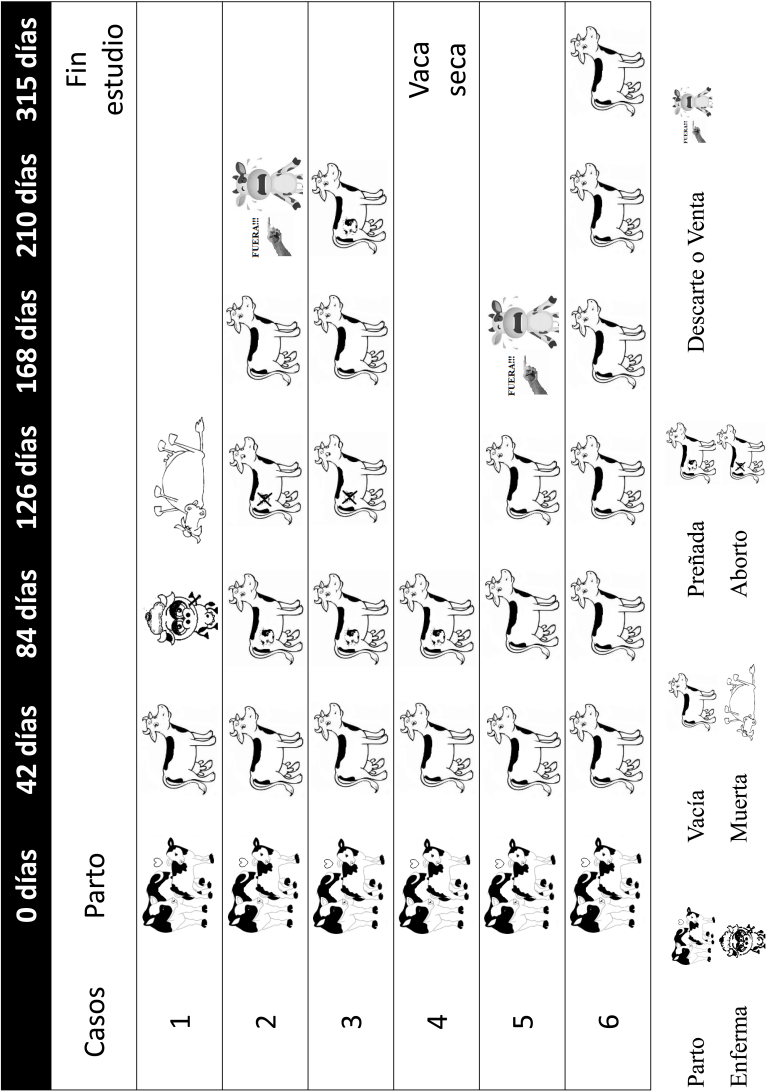


Figura 3.1: Seguimiento de eventos reproductivos por vaca. Ilustración de 6 posibles resultados del monitoreo y registro desde el parto hasta los 315 días posparto.

Tabla 3.1: Registro de datos reproductivos en un año

Caso	RP	Fecha Nacimiento	Raza	Evento	Fecha Evento	DEL Evento	# Parto	Sexo Cría	Rp Cría	Tipo Parto
1	A200	10_06_14	Holando	Parto	01_03_18	0	2	Hembra	A523	Normal
1	A200	10_06_14	Holando	Vacía	12_04_18	42	2	Hembra	A523	Normal
1	A200	10_06_14	Holando	Enferma	24_05_18	84	2	Hembra	A523	Normal
1	A200	10_06_14	Holando	Muerta	05_07_18	126	2	Hembra	A523	Normal
2	A115	10_06_14	F1(HxJ)	Parto	15_04_18	0	4	Macho	A550	Asistido
2	A115	26_11_12	F1(HxJ)	Vacía	27_05_18	42	4	Macho	A550	Asistido
2	A115	26_11_12	F1(HxJ)	Prenada	08_07_18	84	4	Macho	A550	Asistido
2	A115	26_11_12	F1(HxJ)	Aborto	19_08_18	126	4	Macho	A550	Asistido
2	A115	26_11_12	F1(HxJ)	Vacía	30_09_18	168	4	Macho	A550	Asistido
2	A115	26_11_12	F1(HxJ)	Descarte	11_11_18	210	4	Macho	A550	Asistido

El patrón reproductivo de la vaca de leche ha sido definido a partir de las fases de su ciclo estral (proestro, estro, metaestro y diestro), la duración del celo, el momento en que ocurre la ovulación, el proceso de la luteinización y la duración de la gestación; los cuales poseen indicadores cuantitativos como describe Fricke (1999). Este patrón biológico es transferido al patrón reproductivo y se han establecido valores ideales en el marco técnico, veterinario y administrativo en términos de la producción lechera; pudiendo utilizarse para la valoración reproductiva y económica. En la Tabla 3.2 se muestran algunos indicadores reproductivos más usados, los cuales se describen para lograr su comprensión y utilidad para el manejo y gestión de los tambos.

Tabla 3.2: Indicadores reproductivos

Indicador	Significado	Valor problema	Valor deseado
TPA100	Tasa de vacas preñadas antes de los 100 días en lactancia	<del 45 %	58 %
DV	Tiempo, en días, desde el parto hasta la concepción	>140 días	85-110 d
NS/P	Servicios brindados hasta preñez confirmada	>2.5 servicios/preñez	<1.7 servicios/preñez
D1S	Días desde parto hasta primer servicio	>60 d	45-60 d
TDC	Tasa de vacas en celo cada 21 días	<60 d	>90 d
TC	Tasa de servicios que originaron una preñez	<43 %	51 %
TP	Tasa de vacas que se preñan cada 21 días	<40 %	50-60 %
TD	Tasa de vacas descartadas del total de vacas en un período de tiempo	>30 %	20-30 %
TM	Tasa de vacas muertas del total de vacas en un período de tiempo	>5 %	1-3 %
TA	Tasa de abortos sobre el total de vacas preñadas en un período de tiempo	>5 %	1-3 %

El indicador TPA100 considera los eventos ocurridos en forma acumulada hasta los 100 días en lactancia. El indicador días vacíos (DV) también es conocidos como intervalo parto-concepción (IPC). Para NS/P es importante identificar el momento en que la vaca entra en celo para contabilizar bien los servicios que se le dieron a la vaca hasta lograr preñarla. Respecto a los días transcurridos desde el parto al primer servicio (D1S), es importante tener en cuenta que la vaca debe recuperarse después del parto y, según el criterio del productor, debe haber un período de espera voluntario (PEV) donde la vaca no recibe ningún servicio. Por lo tanto, los D1S deben contarse pasado el PEV. Para estimar la TDC, existen varias alternativas desde la visual, utilizando pinturas, hasta sistemas electrónicos automáticos. Con respecto a la TC, valores altos permiten obtener resultados alentadores en otros indicadores tal como en la TP y en la TPA100. La TP, se calcula como el porcentaje de vacas preñadas cada 21 días de un total de vacas que han superado el PEV. Para la estimación de la TD, los motivos de descarte pueden ser por problemas productivos (vacas de baja producción por debajo del costo de alimentación), reproductivos (vacas infértiles) y/o sanitarios (enfermedades repetitivas). Es muy importante para estimar la TM registrar la fecha y la causa de las muertes. Finalmente, para estimar la TA, registrar la fecha en que se produjeron el aborto permite calcular el momento de gestación (días) en donde se perdió la preñez. Cuando el aborto se produce superando los 5 meses de gestación, se lo considera como una nueva lactancia.

3.3 Tablas de vida. Estimación de indicadores

En las tablas de vida vamos a encontrar aproximaciones de los valores de los indicadores reproductivos como riesgo de preñez, de descarte y aborto, calculados usando una base de datos de 500000 lactancias de 296 tambos monitoreados durante 2 años en Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires. El lector las puede usar como valores de referencia y hacer comparaciones con su unidad productiva en función del tipo de tambo. Las probabilidades calculadas son para 4 sistema de producción definidas por su desempeño productivo y reproductivo promedio (C1: 25 l/día y 18 % de tasa de preñez, C2: 20.5 l/día y 18 % de tasa de preñez, C3: 25 l/día y 13 % de tasa de preñez y C4: 20.5 l/día y 13 % de tasa de preñez).

Tabla 3.3: Variación del porcentaje de preñez según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 25 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez

Período	Número de lactancia								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.17	0.32	0.36	0.46	0.42	0.62	0.35	0.00	0.62
2	13.66	11.14	10.22	9.87	8.15	6.53	5.60	4.38	7.97
3	24.24	22.24	21.68	17.81	17.80	15.19	15.60	14.16	11.76
4	23.13	21.70	21.93	20.16	17.16	15.85	16.90	13.77	18.50
5	21.26	21.66	19.30	21.21	17.81	18.18	16.07	13.79	19.85
6	20.97	19.05	19.89	19.09	16.20	17.65	18.14	13.16	10.20
7	19.45	20.93	19.13	17.11	18.57	15.22	13.97	17.49	5.26
8	19.10	19.22	20.20	13.69	13.58	18.48	8.26	11.76	9.68
9	19.90	19.04	18.69	16.70	13.45	17.39	15.71	9.62	11.54
10	18.01	20.59	18.34	18.84	19.18	14.78	16.54	12.05	14.29
11	20.19	19.49	20.08	15.90	22.29	17.39	15.22	13.11	12.90
12	20.02	18.71	16.77	13.65	14.78	13.79	6.67	37.21	0.00
13	20.12	21.89	15.95	17.21	9.79	31.82	0.00	28.57	20.00
14	21.85	17.37	12.30	18.07	25.49	21.28	0.00	33.33	15.38
15	18.93	23.02	11.24	12.61	11.32	14.29	7.69	57.14	0.00
16	20.75	17.33	17.32	15.00	10.53	13.33	0.00	0.00	0.00

Tabla 3.4: Variación del porcentaje de preñez según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 20.5 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez

Período	Número de lactancia								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.60	1.92	2.26	1.64	1.59	2.00	2.37	1.35	1.83
2	13.86	15.33	15.90	15.55	14.09	12.70	11.53	13.95	10.25
3	22.67	23.11	23.54	22.25	19.65	19.86	19.42	17.02	16.68
4	23.91	24.87	24.87	22.64	19.03	17.71	18.37	20.37	17.57
5	21.92	22.53	23.99	23.31	20.78	17.46	18.57	16.42	19.28
6	21.34	22.16	21.14	21.63	18.31	20.38	17.65	17.95	19.00
7	20.85	20.50	21.66	19.20	17.38	17.31	17.32	17.03	18.00
8	20.68	22.34	21.34	20.89	18.62	14.25	17.67	12.34	16.82
9	19.28	20.06	20.47	19.22	18.68	16.13	15.20	18.93	18.92
10	20.33	21.06	18.83	20.34	15.82	18.61	17.78	12.94	18.37
11	20.38	20.77	18.46	14.44	16.63	19.66	20.09	16.13	26.47
12	15.93	19.32	17.11	17.31	22.71	7.66	15.60	13.19	19.05
13	21.06	22.30	21.35	21.53	13.33	12.57	25.00	20.59	27.59
14	15.73	16.00	12.50	14.05	16.77	20.16	10.00	0.00	11.76
15	17.16	19.05	16.39	14.06	23.42	18.39	5.26	34.48	15.38
16	17.08	14.55	19.13	18.18	21.54	23.73	27.27	14.29	22.22

Tabla 3.5: Variación del porcentaje de preñez según período de 21 días y número de lactancias

Tambo	Período	Número de lactancia								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C3	1	0.24	0.41	0.50	0.46	0.59	0.63	0.75	1.18	0.51
	2	9.08	9.00	8.23	6.98	6.36	5.50	5.64	5.98	4.83
	3	18.67	17.44	16.54	14.61	12.70	12.73	10.24	11.48	9.68
	4	19.04	18.88	17.15	15.37	13.24	13.56	11.36	9.25	9.00
	5	18.73	18.56	17.73	15.84	14.77	14.89	12.77	14.93	11.43
	6	17.14	17.13	18.43	15.95	14.33	13.48	11.53	11.01	10.03
	7	16.69	17.31	16.45	14.68	12.74	14.31	11.38	17.63	10.04
	8	16.14	16.99	16.19	13.94	14.23	13.04	13.40	11.90	10.62
	9	16.60	15.34	15.77	13.25	10.84	12.98	10.15	10.26	15.12
	10	14.44	15.36	15.12	14.29	12.04	10.40	10.11	11.46	11.57
	11	16.86	16.10	14.58	18.35	13.54	11.02	7.80	11.86	18.82
	12	13.44	14.45	14.12	14.61	14.84	11.73	17.43	16.47	8.16
	13	12.68	17.03	15.24	14.96	12.62	13.43	13.33	6.90	0.00
	14	16.07	15.04	17.90	14.89	14.71	6.19	19.05	8.89	7.14
	15	14.71	12.16	19.18	13.60	11.20	10.00	5.88	23.53	11.11
C4	16	14.47	10.03	11.20	8.98	10.00	6.19	24.49	26.09	66.67
	1	1.21	1.38	1.51	1.45	1.12	1.19	1.01	1.46	1.58
	2	9.27	10.74	11.10	10.41	9.13	9.35	7.88	7.86	8.22
	3	16.39	17.58	16.71	16.25	14.87	13.21	12.54	12.40	10.05
	4	17.80	18.81	18.74	17.04	14.99	14.28	14.72	15.08	13.21
	5	18.48	18.79	17.75	16.92	15.56	16.39	14.99	16.33	13.40
	6	17.79	18.64	17.22	15.68	16.54	17.00	14.41	14.85	15.58
	7	17.89	18.19	17.52	16.44	16.72	11.98	16.22	10.96	8.12
	8	17.32	16.91	17.07	14.87	14.57	14.77	15.83	14.65	13.14
	9	17.78	15.39	17.86	16.03	13.53	8.44	14.39	16.15	17.73
	10	16.73	17.93	16.12	14.17	13.85	14.61	14.98	16.93	10.14
	11	18.02	15.54	16.67	14.34	12.67	12.55	12.16	19.40	17.82
	12	16.38	15.08	14.43	16.57	13.89	14.44	15.96	16.09	8.70
	13	15.26	15.53	14.79	14.95	12.03	14.23	17.57	13.79	16.67
	14	13.36	14.78	14.20	14.41	9.13	16.85	17.65	10.00	0.00
	15	16.77	13.41	11.35	15.77	9.80	13.01	24.24	13.79	15.38
	16	15.19	16.80	22.14	12.74	19.61	11.49	21.05	18.18	25.00

Nota:
C3: Tambos de 25 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez, C4: Tambos de 20.5 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez

Tabla 3.6: Variación del porcentaje de descarte según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 25 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez

Período	Número de lactancia								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.83	1.38	1.59	1.49	1.90	1.92	3.53	2.14	2.40
2	0.83	0.55	0.78	1.05	1.00	0.53	2.68	0.37	2.57
3	0.61	0.57	0.59	0.73	0.90	0.98	0.93	0.38	0.00
4	0.39	0.31	0.86	0.52	0.94	0.90	1.93	1.18	1.37
5	0.51	0.61	0.70	0.86	1.23	0.95	1.24	1.25	2.17
6	0.60	0.60	0.88	1.09	0.70	0.75	1.55	1.76	2.31
7	0.50	0.47	1.27	0.90	1.24	1.45	2.12	2.33	4.08
8	0.71	0.50	1.05	1.17	1.25	2.83	0.51	2.02	3.57
9	0.63	0.94	0.91	1.17	2.02	2.76	4.09	1.69	3.88
10	0.55	1.01	1.62	1.68	2.03	2.50	3.54	7.07	6.86
11	0.80	1.28	2.29	2.45	2.45	3.60	4.48	4.96	7.58
12	1.63	2.35	2.74	4.94	3.75	2.37	4.96	0.00	8.00
13	1.40	3.93	3.54	4.75	4.98	5.07	8.09	2.63	12.50
14	2.25	2.34	4.10	5.32	6.27	4.64	12.44	6.45	12.70
15	3.26	5.66	7.78	8.52	7.91	7.79	11.39	18.95	8.00
16	3.73	7.07	6.22	9.22	8.21	10.70	12.90	12.31	14.29
17	4.03	8.17	9.93	10.37	9.09	18.78	12.37	18.87	6.06
18	6.31	10.86	7.31	11.67	10.89	9.92	15.19	10.00	14.29
19	8.46	13.59	15.00	13.33	16.22	10.64	22.58	19.35	45.45
20	8.99	12.06	11.94	20.41	9.43	25.00	21.74	31.58	18.18
21	14.56	14.81	20.78	26.00	11.63	26.67	11.11	0.00	50.00
22	11.76	18.63	26.42	12.90	20.29	20.00	43.75	60.00	50.00
23	15.29	22.03	17.14	40.82	39.22	34.78	22.22	50.00	100.00
24	18.60	16.09	40.00	24.00	29.63	28.57	57.14	0.00	0.00
25	14.89	34.78	15.38	22.22	25.00	60.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 3.7: Variación del porcentaje de descarte según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 20.5 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez

Período	Número de lactancia								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.890	1.800	1.770	2.020	2.500	2.53	2.010	2.67	3.110
2	0.381	0.533	0.500	0.778	1.010	1.03	0.839	1.13	1.700
3	0.489	0.536	0.707	0.695	0.942	1.47	2.310	1.69	1.280
4	0.681	0.541	0.585	1.020	1.340	1.41	1.080	1.38	0.838
5	0.877	0.671	0.723	0.821	0.818	1.51	1.220	1.33	3.710
6	0.669	0.917	0.846	1.220	1.750	1.34	1.480	1.42	2.320
7	0.565	0.664	0.749	1.040	1.720	2.15	1.690	1.35	2.960
8	0.753	0.983	0.912	1.320	1.540	2.20	1.020	2.92	3.300
9	0.879	1.430	1.110	1.730	2.320	1.99	2.530	2.69	3.850
10	1.820	2.050	1.980	2.530	2.440	3.03	4.310	5.03	4.910
11	2.430	3.280	2.470	3.520	3.160	4.25	4.550	9.81	4.770
12	3.050	2.940	3.340	4.900	4.660	6.06	6.190	4.24	10.220
13	4.330	4.290	4.020	4.900	6.840	4.69	7.190	11.76	11.820
14	5.050	5.130	5.350	7.560	6.790	7.25	5.590	4.81	11.610
15	5.310	7.270	7.740	9.970	7.450	6.93	16.470	12.27	15.520
16	6.560	5.640	7.710	13.390	9.180	8.81	7.640	8.40	17.950
17	6.350	7.290	8.730	9.060	9.210	8.29	10.620	17.39	17.390
18	6.790	8.450	6.900	11.970	14.480	12.66	17.280	20.90	27.590
19	7.030	8.050	12.400	19.160	11.270	13.08	14.040	12.77	42.860
20	7.180	4.260	2.410	16.670	18.560	7.59	20.000	17.14	33.330
21	8.430	18.070	12.600	19.180	19.670	10.00	8.330	18.18	0.000
22	11.890	11.880	21.980	17.020	10.260	22.73	50.000	33.33	0.000
23	10.940	21.050	17.240	20.000	21.430	0.00	44.440	0.00	50.000
24	14.430	23.530	31.580	38.100	0.000	34.78	0.000	50.00	100.000
25	27.400	34.480	28.570	0.000	33.330	46.15	0.000	0.00	0.000

Tabla 3.8: Variación del porcentaje de descarte según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 25 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez

Período	Número de lactancia								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2.160	2.470	2.300	2.530	2.70	3.36	4.43	2.500	2.74
2	0.660	0.820	1.160	1.070	1.18	1.17	1.07	1.220	1.07
3	0.621	0.544	0.598	0.963	1.14	1.52	1.31	0.421	2.77
4	0.625	0.607	0.867	0.872	1.03	1.04	1.79	1.530	1.78
5	0.766	0.638	0.841	1.220	1.34	1.67	1.78	2.080	1.27
6	0.556	0.778	0.875	0.867	1.70	1.53	2.22	1.450	2.02
7	0.558	0.666	0.988	1.020	1.50	1.82	2.99	1.530	2.88
8	0.596	0.884	0.799	1.430	1.61	1.76	2.31	4.130	1.98
9	0.516	0.904	1.020	1.340	1.26	2.09	2.86	2.470	3.96
10	0.678	0.935	0.945	1.810	2.17	1.97	1.94	2.830	4.16
11	0.829	1.440	1.780	1.920	2.38	3.74	3.71	2.580	6.92
12	1.530	1.730	1.760	2.740	2.82	4.14	3.66	7.530	6.45
13	1.670	2.720	3.530	3.450	3.11	4.47	6.47	5.670	6.32
14	2.080	3.850	3.660	4.350	5.66	5.57	6.13	8.890	6.76
15	2.260	4.450	5.140	5.970	5.74	12.13	6.17	4.550	15.13
16	3.180	5.430	6.600	5.670	6.27	9.16	10.28	8.570	8.89
17	3.070	5.490	6.140	6.880	6.41	12.14	9.85	13.330	16.90
18	4.720	6.300	8.850	7.360	6.82	10.30	12.05	10.390	18.87
19	6.520	8.690	7.910	11.220	9.94	9.09	6.45	10.000	0.00
20	6.990	8.380	9.120	14.670	13.09	11.85	19.23	12.240	32.26
21	10.820	12.350	9.880	12.800	25.00	22.64	20.25	16.220	0.00
22	8.320	14.080	21.730	19.670	13.24	22.86	14.04	0.000	0.00
23	10.240	17.800	19.630	10.610	15.24	17.78	23.26	8.330	44.44
24	18.690	19.750	23.530	26.420	21.69	30.30	26.67	33.330	0.00
25	13.890	12.070	28.040	29.850	10.00	22.22	47.62	18.180	50.00

Tabla 3.9: Variación del porcentaje de descarte según período de 21 días y número de lactancias. Tambos de 20.5 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez

Período	Número de lactancia								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2.920	2.420	2.040	2.690	2.37	3.020	1.930	2.64	3.260
2	0.415	0.382	0.568	0.575	1.09	0.715	0.902	1.14	0.991
3	0.495	0.441	0.623	0.897	0.97	0.887	1.210	1.44	0.861
4	0.520	0.525	0.571	1.030	1.37	1.080	1.550	2.19	2.540
5	0.635	0.572	0.776	1.120	1.33	1.090	1.250	2.19	3.710
6	0.827	0.734	0.967	0.949	1.43	1.900	2.060	2.81	2.570
7	0.665	0.970	1.020	1.300	1.64	1.650	2.560	2.86	3.020
8	0.714	1.000	1.360	1.780	1.85	2.320	1.530	2.03	3.060
9	1.030	1.260	1.640	1.890	1.85	2.760	3.620	2.94	4.300
10	1.110	1.280	1.940	2.120	2.99	2.580	2.590	4.57	5.900
11	1.300	1.860	1.890	3.580	3.13	3.600	4.970	4.64	7.100
12	2.030	2.890	3.590	4.220	3.66	3.990	4.040	7.24	8.850
13	1.760	3.110	3.390	5.140	4.01	8.240	6.840	7.55	8.160
14	2.520	3.820	4.460	5.880	8.30	5.430	6.490	10.97	11.640
15	3.870	5.560	6.640	7.810	8.29	8.170	12.700	10.65	12.590
16	4.780	6.190	7.810	6.630	9.27	11.390	15.830	9.45	13.460
17	3.350	9.270	10.560	11.520	14.97	11.210	16.330	14.00	24.320
18	6.530	13.300	8.290	12.420	15.07	13.390	17.520	10.53	15.690
19	8.200	14.870	10.810	12.730	13.06	18.680	10.750	18.46	20.000
20	8.530	11.520	7.760	11.620	15.20	17.320	8.450	12.24	7.140
21	4.590	13.380	13.060	13.790	6.84	8.510	28.570	27.03	33.330
22	7.930	10.990	14.770	10.170	9.09	21.620	33.330	17.39	25.000
23	10.360	16.130	15.870	13.190	30.30	4.000	25.000	22.22	36.360
24	13.900	21.430	23.660	28.170	47.62	53.330	11.110	46.15	33.330
25	19.550	11.110	34.920	22.730	19.05	20.000	37.500	33.33	0.000

Tabla 3.10: Variación del porcentaje de aborto según meses en gestación y número de lactancias

Tambo	Mes	Número de lactancia								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
C1	1	0.06	0.00	0.20	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	2.70	2.87	2.69	4.61	3.98	2.66	5.82	5.50	7.30
	3	4.55	4.17	4.56	4.37	5.02	5.46	4.54	6.45	0.00
	4	3.48	2.84	3.15	3.26	4.54	2.95	2.45	2.70	1.75
	5	3.55	3.99	3.19	3.01	3.14	2.63	5.07	2.80	0.00
	6	3.67	3.83	3.35	3.63	4.25	2.97	1.37	4.90	3.67
	7	1.52	1.31	1.74	1.17	1.90	0.48	0.96	5.41	1.96
	8	1.58	1.37	1.76	0.98	1.21	0.98	0.98	1.20	2.02
	9	0.67	0.62	0.80	0.46	0.92	0.76	1.01	0.00	0.00
C2	1	0.20	0.27	0.29	0.18	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00
	2	1.52	1.63	1.57	2.17	2.57	2.94	3.14	4.08	2.47
	3	2.79	2.57	3.67	3.42	4.54	4.23	4.63	5.77	4.74
	4	2.37	2.43	2.61	3.06	3.67	3.53	2.11	2.82	2.62
	5	4.13	3.26	3.27	3.59	3.12	2.48	2.61	5.47	3.86
	6	2.36	2.83	2.96	2.78	2.92	2.20	2.03	3.18	1.75
	7	1.22	1.10	1.25	1.34	1.58	1.08	0.94	1.47	0.61
	8	0.84	0.82	0.75	1.39	1.07	0.98	0.73	1.56	0.00
	9	0.60	0.54	0.70	0.56	0.30	0.72	0.25	0.55	1.91
C3	1	0.06	0.05	0.06	0.05	0.10	0.18	0.19	0.00	0.00
	2	1.37	2.02	1.81	2.40	2.10	3.21	1.80	2.10	2.54
	3	3.00	3.29	2.87	3.67	2.73	3.49	4.82	2.75	3.53
	4	2.96	2.62	2.70	3.34	2.80	2.95	4.80	0.96	2.29
	5	3.70	3.13	2.22	3.22	2.94	2.59	2.57	4.38	2.36
	6	3.79	3.91	3.51	3.64	2.67	2.96	2.97	2.06	1.63
	7	1.45	1.66	1.67	1.64	1.19	1.49	1.14	0.54	1.69
	8	1.42	1.50	1.56	1.16	1.59	1.27	1.19	1.69	0.00
	9	1.01	0.98	0.71	0.42	0.30	0.59	0.92	1.17	0.00
C4	1	0.05	0.09	0.04	0.07	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00
	2	1.41	1.33	1.62	1.98	1.60	1.54	1.10	1.24	2.78
	3	2.29	3.05	2.44	2.89	4.31	2.17	4.32	4.39	4.12
	4	2.55	2.69	2.62	2.76	3.27	2.94	3.97	2.93	1.69
	5	3.63	3.33	2.91	3.29	3.14	1.95	3.83	3.85	2.42
	6	2.84	3.11	3.30	2.86	2.69	2.96	2.57	4.07	3.83
	7	1.54	1.64	1.34	1.47	1.13	0.84	2.25	1.31	0.68
	8	1.21	1.08	1.34	1.03	1.54	0.87	0.48	1.37	1.43
	9	0.83	0.80	0.61	0.73	0.80	0.30	0.98	0.48	0.00

Nota:
C1: Tambos de 25 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez, C2: Tambos de 20.5 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez, C3: Tambos de 25 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez, C4: Tambos de 20.5 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez

3.4 Implementaciones del cálculo de indicadores en SAS

Los códigos que se presentan a continuación, permiten obtener riesgo de eventos reproductivos usando procedimientos del software estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC). También pueden ejecutarse con la version SAS University de acceso libre (SAS University Edition).

3.4.1 Cálculo de riesgos con SAS University

Ahora obtendremos los riesgos de cada uno de los indicadores necesarios para ingresarlos al modelo bioeconómico que se presenta en la Sección 4 de este libro, a través de la función de riesgo (hazard function), que nos refleja la dinámica de cada uno de los procesos estudiados, ya que sus valores proveen una adecuada aproximación de la tasa de incidencia.

Riesgos de Preñez

El primer indicador que obtendremos será para la preñez, permitiéndonos determinar cuál es el momento de mayor riesgo para que un individuo se preñe. Recordemos que la observación de los eventos se efectuó a intervalos fijos de tiempo de 21 días que equivale a duración promedio del ciclo estral de la vaca hasta completar los 336 días posparto. Para estimar el riesgo de preñez, ingresamos a SAS University y en el área de trabajo se visualiza una ventana llamada código donde escribiremos los siguientes comandos:

```
# Proc lifetest data=  
# method= life plots=(s,h)  
#      intervals=21 42 ...336;  
# time da*censor(0)  
# strata catnlact/ adjust=tukey;  
# by clastboreproxprodpromedio;  
# run;
```

Para correr el código SAS, usamos el ícono con el hombrequito corriendo. Si el programa corre sin problemas la ventana de salida aparece automáticamente con la salida correspondiente. A ésta la podemos descargar como archivo HTML, PDF, RTF o imprimir usando los íconos de acceso directo en la barra del menú. Si el programa no ha corrido correctamente (la ventana de log tiene avisos y/o errores), debemos volver a la ventana del editor del programa y realizar las correcciones necesarias. Una vez que hemos escrito el programa correctamente, debemos guardarlo en nuestro disco (para evitar que se nos borre accidentalmente). Para ello usamos el ícono del disquete o la opción guardar como y escogemos un nombre para el programa. El mismo se guardará en la subcarpeta creada como myfolders.

Estos códigos producen las tablas de vida para cada número de lactancia (1 a 9) y por cada tipo de tambo (C1: 25 l/día y 18 % de tasa de preñez, C2: 20.5 l/día y 18 % de tasa de preñez, C3: 25 l/día y 13 % de tasa de preñez y C4: 20.5 l/día y 13 % de tasa de preñez). La columna de Probabilidad condicional de falla (Conditional Probability of Failure) es una estimación de la probabilidad que un individuo se “preñe” en el intervalo ya que consiguió llegar al comienzo de este intervalo. Estos valores, expresados en porcentaje, son los inputs para ajustar el modelo

bioeconómico. La columna sobrevida (Survival) es la variable que se representa a través de la curva de sobrevida para cada número de lactancia y tipo de tambo. La columna Riesgo (Hazard), nos da la estimación de la función de riesgo evaluada a la mitad de cada intervalo.

Según los resultados de la prueba de la igualdad de los estratos, las curvas de sobrevida según el número de lactancia y tipo de tambo, podemos apreciar que se puede rechazar con unanimidad la hipótesis nula de igualdad de las curvas por los valores arrojados por los tres test (resultados no mostrados que pueden obtenerse al correr el programa de SAS). En los resultados se prueba la hipótesis que todos los niveles del estrato analizado o grupos tienen la misma función de sobrevida. En el caso que se analicen más de dos grupos, podríamos identificar cuál difiere de cuál.

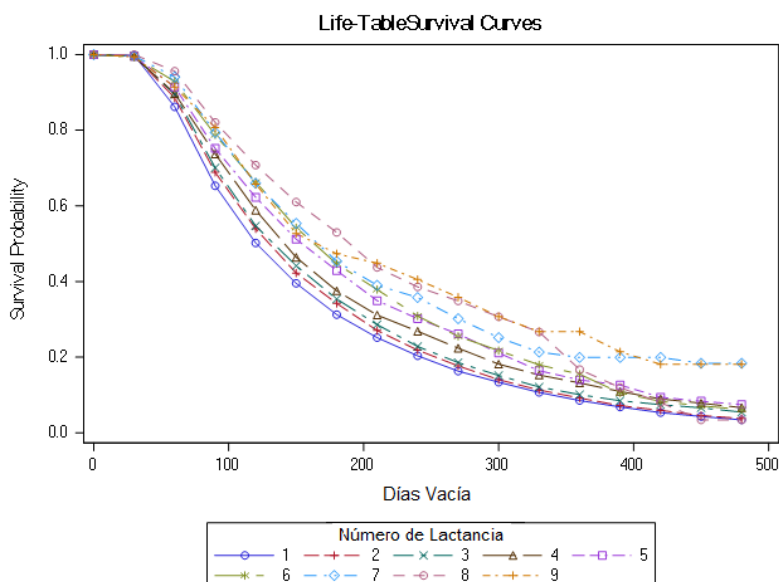


Figura 3.2: Curvas de sobrevida estimadas por el método actuarial

La Figura 3.2 corresponde a la curva de sobrevida (survival) estimada por el método actuarial que se detalla en las tablas de vida para cada número de lactancia, en este caso para el tambo tipo C1.

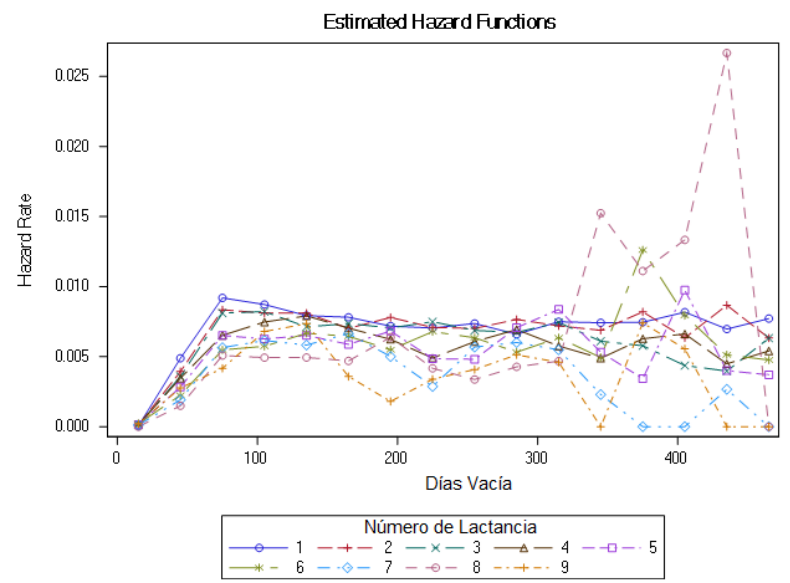


Figura 3.3: Curva de riesgo estimadas (Hazard)

La Figura 3.3 representa los valores que se encuentran en las tablas de vida para cada número de lactancia, ilustrando un tambo de tipo C1 bajo el nombre de riesgo (hazard). En la misma podemos apreciar cuál es el momento de mayor riesgo para que el animal se preñe según su número de lactancia.

Código SAS para la obtención de las probabilidades de descarte

```
# Proc lifetest data= method= life
# plots=(s,h) intervals=21 42 ...525;
# time dsaculling*censor(0);
# strata catnlact / adjust=tukey;
# by clastboreproxprodpromedio censorsverdades;
# run;
```

Código SAS para la obtención de las probabilidades de Aborto

```
# Proc lifetest data=
# method= life plots=(s,h) intervals=30 60... 300;
# time dsaborto*censor(0);
# strata catnlact / adjust=tukey;
# by clastboreproxprodpromedio;
# run;
```

Código SAS para el ajuste de las curvas de lactancia según MilkBot

```
# Proc nlmixed data= ;  
# parms a 40 b 65 c -0.07 d 0.002 logs 1;  
# media= (a)*((1-Exp((c-dlact)/b)/2)*Exp(-d*dlact));  
# model ltsleche ~ normal (media,exp(2*logs));  
# run;
```

Luego de correr el código propuesto para el ajuste de las curvas de lactancia en el software estadístico SAS, en la ventana de resultados, la tabla titulada Parameter Estimates (Parámetros estimados) contiene los valores estimados de los 4 pámetros (a, b, c y d) del modelo de MilkBot ajustado. Estos valores se usarán como inputs en el modelo bioeconomico que se muestra en la sección 4 de este libro.

INDICADORES EN ACCIÓN

4.1 Modelo Bioeconómico

Cabrera (2010) desarrolló un modelo bioeconómico (Dairy Reproductive Economic Analysis) que simula tambos y cuyos cálculos se basan en probabilidades de ocurrencia de distintos eventos interpretados como indicadores de eficiencia reproductiva y productiva. Para obtener una medida global de eficiencia del establecimiento, los indicadores que alimentan al modelo deben ser calculados para intervalos de tiempo de 21 días contados desde la fecha del primer parto hasta la fecha del noveno parto. Existe una extensión de este modelo, que se basa en probabilidades a escala diaria (Cabrera, 2012; Giordano et al., 2012), y es usada para comparar el valor económico de distintos programas reproductivos sobre distintas unidades de análisis (vaca o grupo de vacas dentro de un mismo tambo e incluso distintos tambos). Los eventos involucrados en los aspectos reproductivo son: preñez, muerte, descarte, venta, parto y aborto. En lo productivo son los parámetros de la curva de lactancia, específicamente la obtenida por el modelo de Milkbot (Ehrlich, 2011). El modelo bioeconómico (Cabrera, 2010) se basa en la concatenación de eventos para modelar transiciones y cambios de estados del rodeo. El estado final, conocido como, estado de convergencia o estabilización de la población, es aquel donde la cantidad de animales en los distintos estados o condiciones deja de

cambiar en forma sustancial. La cantidad de animales en los distintos estadios es afectada por costos e ingresos para cálculos del retorno neto del rodeo. Entre los valores monetarios que se incorporan en el modelo están: el precio de la leche, el costo de una vaquillona de reposición, el costo del protocolo reproductivo utilizado, el valor de un ternero/a al parto, el valor de una vaca descarte y las ganancias de la producción de leche descontando el costo de la alimentación. De esta manera, el retorno neto por vaca en el rodeo, en un lapso de tiempo específico, se calcula como la sumatoria de los siguientes ítems: ingreso sobre los costos de alimentación, costos por posible descarte, costos por posible mortandad, ingresos por posibles terneros y terneras, y costos reproductivos.

4.2 Datos de ilustración

La base de datos cuenta con registros de más de 500.000 lactancias provenientes de 296 tambos localizados en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires, monitoreados durante 2 años. Los tambos se encuentran clasificados en cuatro sistemas de producción en función de la combinación de los litros (l) producidos por día (d) promedio/vaca para cada tambo y la tasa de preñez (TP en %) promedio según el tipo de tambo; C1: 25 l/d/vaca y 18 %TP; C2: 20,5 l/d/vaca y 18 %TP; C3: 25 l/d/vaca y 13 %TP; y C4: 20,5 l/d/vaca y 13 %TP (base de datos disponible, bajo requerimiento a los autores de este libro).

4.3 Cálculo de indicadores para alimentar el modelo

Para el cálculo de las probabilidades de cada evento, se necesita una tabla de datos con dos columnas, la primera de ellas con el dato de cada vaca del tiempo en días que transcurrió desde el parto hasta su preñez confirmada o hasta los días en que se conoce con certeza en qué condición estaba la vaca (vacía, vendida, descartada o muerta). A esta columna la llamaremos “DIAS A... PREÑEZ, DESCARTE, MUERTE o ABORTO”. La segunda columna, la llamaremos CENSOR y debe contener la información de manera codificada, en 0 o 1, para indicar si la vaca efectivamente sufrió el evento objeto de estudio (éxito=0) o no (fracaso=1). Cuando no sufre el evento objeto de interés, se los llama datos o eventos censurados. A continuación, se describe como generar la información (indicadores) que se necesita para correr el modelo.

4.3.1 Riesgo de preñez

Indicador días vacíos: para su cálculo se necesita una tabla con dos columnas, una de ellas debe contener los tiempos entre la fecha del parto al evento objeto de estudio, en este caso preñez, o a un evento que no lo es. Los eventos pueden ser: preñez confirmada (objeto de estudio), rechazo, muerte, venta, aborto o fin de estudio. Luego, se requiere crear la columna censor para indicar si el bovino posterior a los servicios presentaba una preñez confirmada (éxito=0), o si está vacía (fracaso=1). Se debe censurar para este análisis los días vacíos en los siguientes casos: animales rechazados o descartados, muertos o vendidos (Figura 4.1).

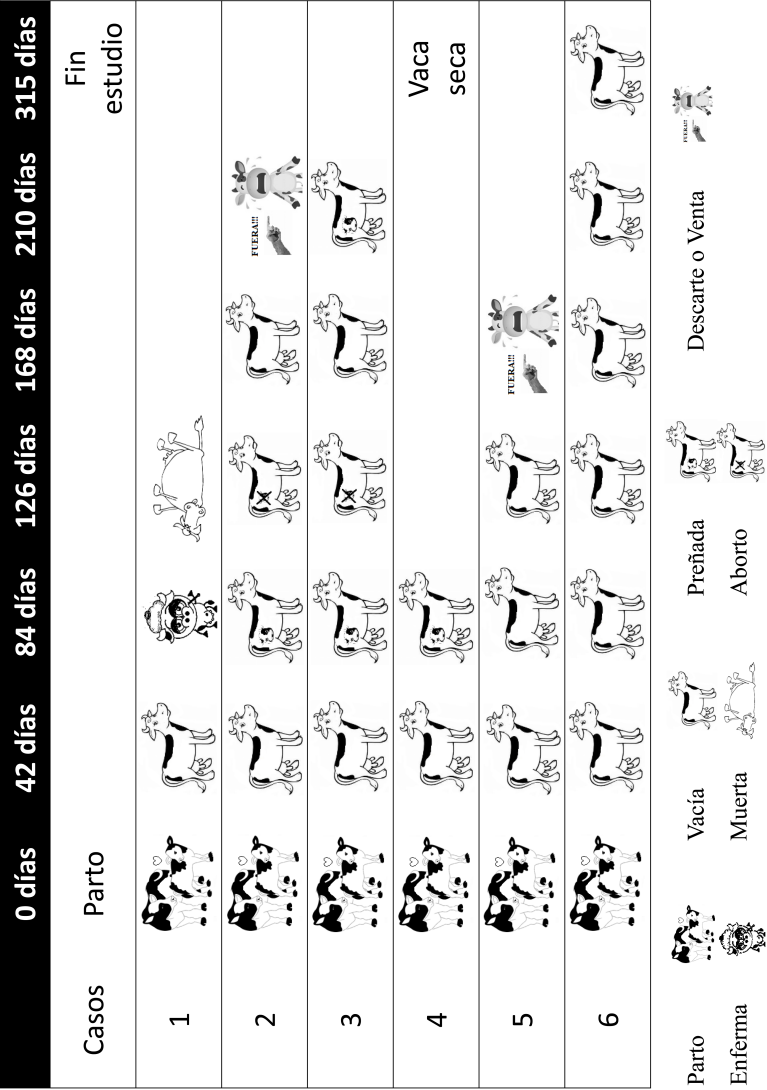


Figura 4.1: Seguimiento de eventos reproductivos por vaca. Ilustración de 6 escenarios posibles de preñez

Tabla 4.1: Registro de posibles escenarios de preñez

Caso	Días Vacíos	Censor
1	126	1
2	210	1
3	210	0
4	84	0
5	168	1
6	315	1

4.3.2 Riesgo de descarte

Indicador días parto–descarte: en la tabla de datos se deben registrar los tiempos entre la fecha del parto al evento descarte o a un evento que no lo es. Los eventos pueden ser: rechazo,venta (ambos objetos de estudio), preñez confirmada o muerte. Luego, se necesita crear una columna censor que indica si la vaca fue dada de baja (éxito=0) o no a lo largo de la lactancia, estos últimos representan los casos censurados (fracaso=1). Existen varios motivos de descarte; 1. cuando se decide no darle más servicios (servicios) y se vende al finalizar la lactancia, 2. disminuyó la producción por debajo del costo de alimentación, 3. la vaca tiene problemas morfológicos, por ejemplo de aplomos, o bien sanitario debido a la reincidencia de enfermedades como mastitis o endometritis (Figura 4.2).

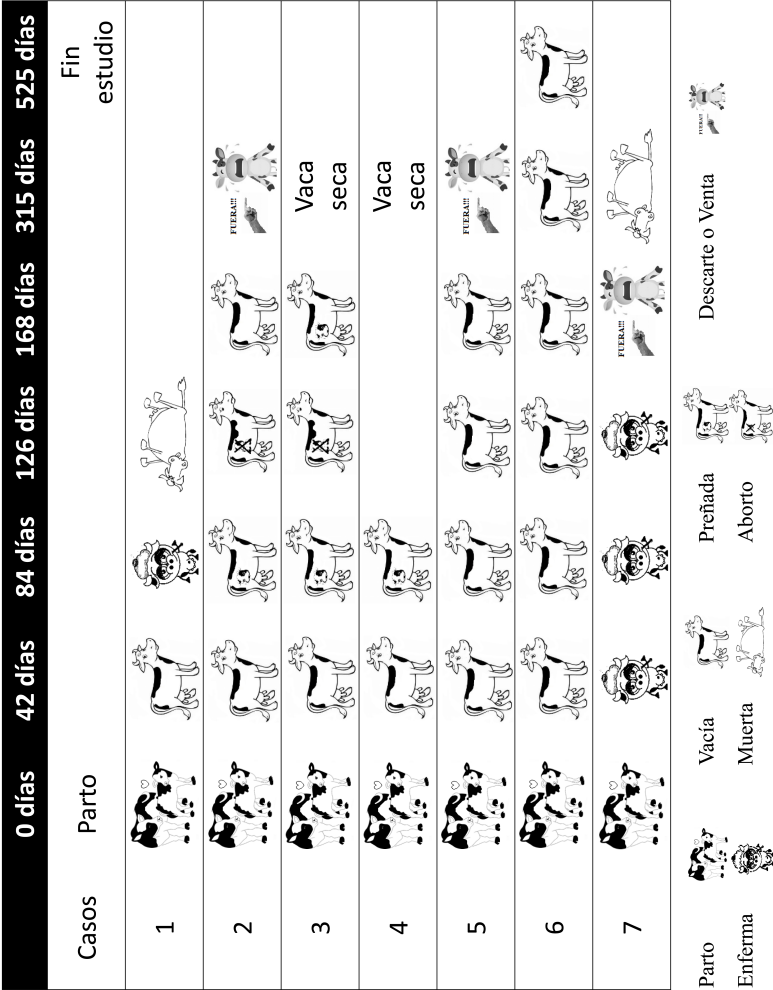


Figura 4.2: Seguimiento de eventos reproductivos por vaca. Ilustración escenarios posibles de descarte

La Tabla 4.2 representa la forma de codificar los 6 posibles resultados de seguimientos.

Tabla 4.2: Registro de posibles escenarios de descarte

Caso	Días a descarte	Censor
1	126	1
2	315	0
3	315	1
4	315	1
5	315	0
6	525	1
7	168	0

4.3.3 Riesgo de muerte

Indicador días parto–muerte: para generar este indicador se debe crear una columna que contenga los tiempos entre la fecha del parto al evento muerte o un evento que no lo es. Los eventos pueden ser: muerte (evento objeto de estudio), aborto, rechazo, venta, o preñez confirmada. Luego, se debe generar una variable censor para indicar si a la vaca había muerto efectivamente (éxito=0), o no a lo largo de la lactancia, siendo estos últimos casos, eventos censurados (fracaso=1) (Tabla 4.3). La Tabla 4.3 representa la forma de codificar los 7 posibles resultados de seguimientos.

Tabla 4.3: Registro de posibles escenarios de mortandad

Caso	Días a muerte	Censor
1	126	0
2	315	1
3	315	1
4	315	1
5	315	1
6	525	1
7	315	0

4.3.4 Riesgo de aborto

Indicador días concepción–aborto: para su cálculo se debe generar o crear una columna que contenga los tiempos entre la fecha de la concepción al evento aborto o a un evento que no lo es. Los eventos pueden ser: aborto (objeto de estudio), rechazo, venta, preñez confirmada o muerte. Luego, se tiene que crear una variable censor para indicar si la vaca ha abortado (éxito=0) o no a lo largo de la lactancia (fracaso=1) (Figura 4.3).

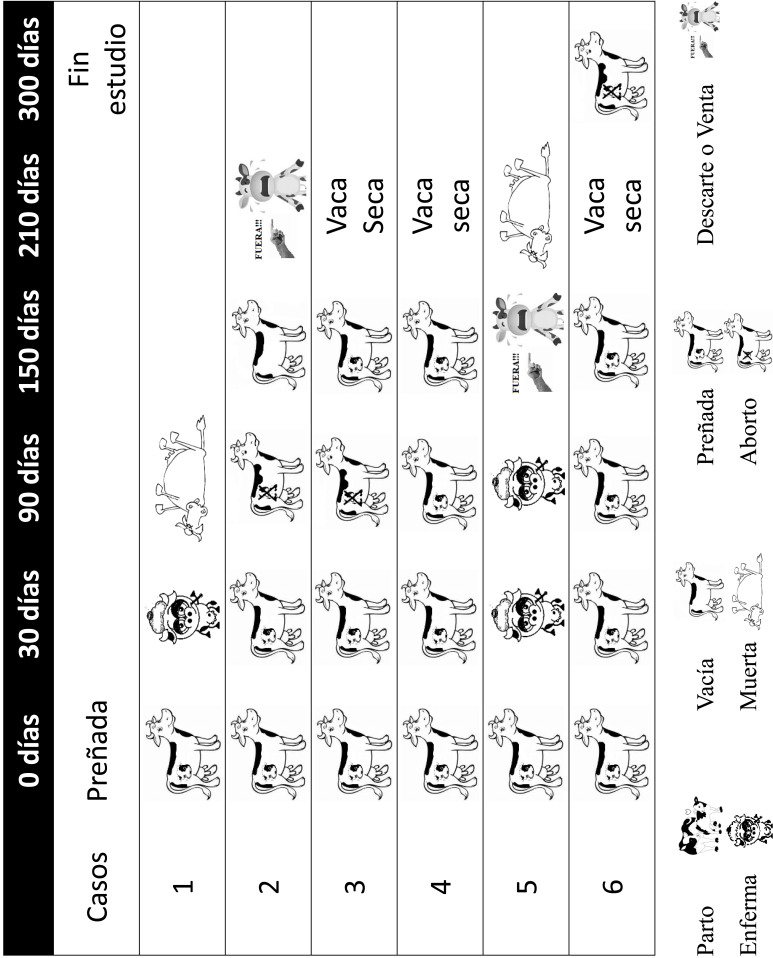


Figura 4.3: Seguimiento de eventos reproductivos por vaca. Ilustración escenarios posibles de aborto

La Tabla 4.4 representa la forma de codificar los 6 posibles resultados de seguimientos.

Tabla 4.4: Registro de posibles escenarios de aborto

Caso	Días a aborto	Censor
1	126	0
2	315	1
3	315	1
4	315	1
5	315	1
6	525	1
7	315	0

4.4 ¡Ahora sí, ajustemos el modelo!

Una vez generadas en una base de datos las columnas necesarias para estudiar los eventos de interés, estamos en condiciones de calcular las probabilidades de ocurrencia de los mismos. Para esto utilizaremos lo que en estadística se llama análisis de sobrevida (Cox, 1972; Therneau, 2012), más específicamente a través del método actuarial o tablas de vida. En este método, la observación de los eventos se efectúa a intervalos de tiempo fijos, en nuestro caso el intervalo es de 21 días. Derivaremos una función de riesgo (hazard function), la cual, estima en cada lapso de tiempo la probabilidad de que suceda el evento, condicionado a que no haya ocurrido antes, marcándonos la dinámica del proceso estudiado, permitiéndonos determinar cuál es el momento de mayor riesgo de que el individuo experimente el evento de interés. Para estimar las funciones de riesgo para los tres eventos de interés se utilizará el pro-

cedimiento de tablas de vida (PROC LIFETEST) del software estadístico SAS (SAS, 2008) para cada una de las 9 lactancias y para cada sistema productivo definido en el ejemplo).

4.5 Indicadores reproductivos

4.5.1 Riesgo de Preñez

En la Figura 4.4, se presentan las probabilidades o riesgos de preñez (en porcentaje) de las tres primeras lactancias para los 4 tipos de tambos. En todas las lactancias se observó, que aproximadamente en los primeros 63 a 83 días en lactancia el riesgo de preñez se incrementa abruptamente llegando al pico de riesgo. Este pico se mantiene hasta los 105 a 126 días en lactancia. Luego, el riesgo de preñez desciende lentamente conforme transcurren los días de lactancia. Este patrón se observó en todos los tipos de tambos. También se observó que los tipos de tambo C1 y C2, ambos de alto desempeño reproductivo, se mostraron con un comportamiento similar en los valores de los riesgos de preñez a lo largo de la lactancia, diferenciándose de los tipos de tambo C3 y C4, que también mostraron un comportamiento reproductivo similar. Los máximos valores de riesgo alcanzados por los tambos C1 y C2 fueron hasta, aproximadamente, un 25 % en las primeras 3 lactancias, mientras que para los tambos C3 y C4 hasta un 18 % aproximadamente. Estos máximos valores de probabilidades de preñez alcanzados, decrecen acorde aumenta el número de lactancias. De esta manera, en la lactancia 4, los máximos valores alcanzados en los tambos C1 y C2 fueron de 22 y 23 % de preñez, mientras que para los tambos C3 y C4 rondan el 16 y 17 % (Tablas 3.3, 3.4, 3.5).

En la lactancia 6 los valores de preñez alcanzados en los tambos C1 y C2 fueron del 17 y 18 % y en los tambos C3 y C4 entre el 14 y 15 %. En la última lactancia analizada, la novena, los porcentajes de preñez esperados se encuentran entre 16 y 17 % en los tambos C1 y C2, y aproximadamente en 13 % en los tambos C3 y C4. En todas las lactancias y en todos los tipos de tambo se aprecia que en la última parte de la lactancia, aproximadamente luego de los 300 días, el riesgo de preñez estimado tiene un comportamiento errático. Esto podría deberse a que hay menos vacas con lactancias que sean tan largas y por lo tanto la estimación es menos precisa.

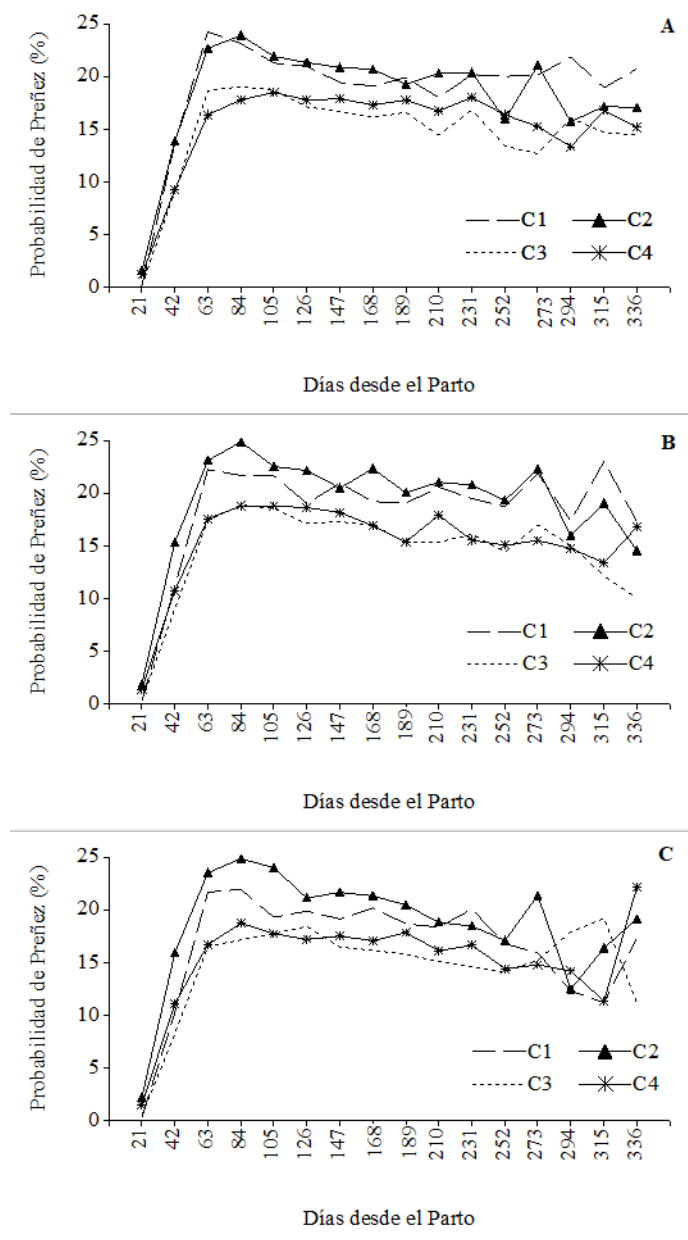


Figura 4.4: Riesgo de preñez según la primera (A), segunda (B) y tercer (C) lactancia y tipo de tambo

4.5.2 Riesgo de descarte

En la Figura 4.5 se presentan las probabilidades o riesgos de descarte (en porcentaje) de las tres primeras lactancias para los 4 tipos de tambos. En todas las lactancias y tipos de tambos, se observó que en los primeros días en lactancia luego del parto el riesgo de descarte presenta valores de entre el 2 y 3 % y posteriormente, desciende hasta el día 42 de lactancia. Luego, este riesgo se mantiene constante entorno al 1 % un determinado tiempo, el cual depende del número de lactancias (189 en la primera lactancia, 168 en la cuarta, 126 en la sexta y 84 en la novena), para nuevamente volver a elevarse llegando al pico de riesgo de descarte. Así, en el día 315 de lactancia, el riesgo de descarte para la primera, cuarta, sexta y novena lactancia fue, aproximadamente, del 4 %, 8 %, 10 % y 14 %, respectivamente. Estos valores siguen aumentando considerablemente como se puede apreciar en la Figura 4.5. En el estudio del riesgo de descarte, los tambos C1 y C3 se comportaron de manera similar y se diferenciaron de los tambos C2 y C4 que también fueron similares entre ellos. Los tambos C1 y C3 son los que poseen un alto desempeño productivo, en contraposición de los tambos C2 y C4. Estos últimos siempre estuvieron asociados a los mayores riesgos de descarte y a su vez, el tambo C2 de alto desempeño reproductivo, fue el que presentó los mayores valores de descarte.

Los porcentajes de mortalidad encontrados en nuestro ejemplo se detallan en la Tabla 4.5. Los mayores valores se encontraron relacionados a los tambos de bajo desempeño reproductivo.

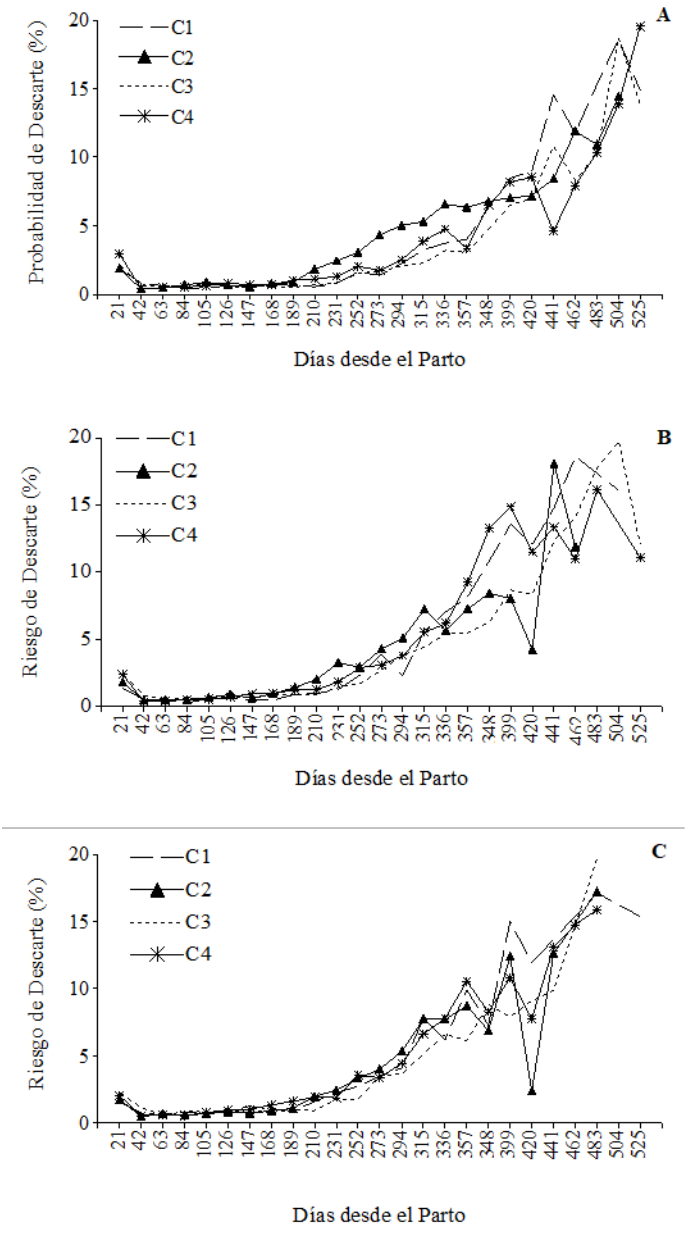


Figura 4.5: Riesgo de descarte para la primera (A), segunda (B) y tercera lactancia (C) para todos los tipos de tambo.

Tabla 4.5: Estimación de porcentajes promedios de mortalidad según el tipo de tambo para todas las lactancias

Tipos de tambos	Mortandad (%)
25 l/vaca/d y 18 % de preñez	8.6
20.5 l/vaca/d y 18 % de preñez	7.2
25 l/vaca/d y 13 % de preñez	10.6
20.5 l/vaca/d y 13 % de preñez	11.1

4.5.3 Riesgo de aborto

En la Figura 4.6 se presentan las probabilidades o riesgos de aborto (en porcentaje) de las tres primeras lactancias para los 4 tipos de tambos. En todas las lactancias y tipos de tambos, se observó dos picos de máximo riesgo de producirse un aborto, el primero se presenta alrededor de los 3 meses de gestación y el segundo, entre el quinto y sexto mes de gestación. En nuestros datos, se puede apreciar que los tambos C2 y C4 se distinguen respecto al porcentaje de aborto de los tambos C1 y C3; siendo menores los riesgos de aborto asociados a los primeros tambos. El riesgo de aborto alcanza en los picos observados, valores de hasta un 5 % en las primeras lactancias y de hasta un 7 % en las últimas. Cabe destacar que los tambos C1 y C3 tienen en común un alto desempeño productivo. Entonces, a mayor desempeño productivo, es mayor la probabilidad de aborto. Así, la probabilidad acumulada de aborto de las vacas de primera lactancia fue de 21,8 % para los tambos C1, 16 % para los tambos C2, 18,8 % para los tambos C3 y 16,3 % para los tambos C4. Para las vacas de 3 lactancia la probabilidad de aborto acumulada fue de 21,4 % para los tambos C1, 17 % para los tambos C2, 17,1 % para los tambos C3 y 16,2 % para los tambos C4.

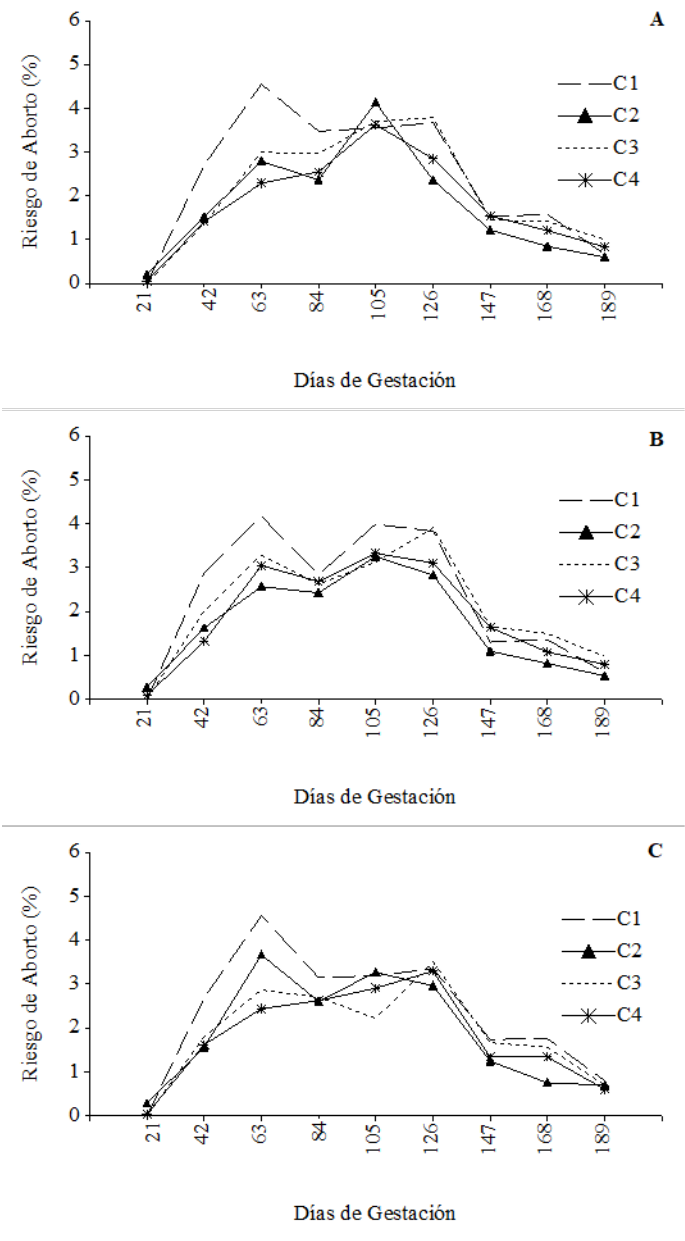


Figura 4.6: Probabilidad de aborto para la primera (A), segunda (B) y tercera lactancia (C) para todos los tipos de tambo

4.6 Indicadores productivos

Para obtener los parámetros de las curvas de producción de leche de los cuatro tipos de tambos del ejemplo para cada número de lactancia (9 lactancias en total), se deben ajustar las respectivas curvas de lactancia bajo el modelo de MilkBot (Ehrlich, 2011). Para esto, utilizaremos el procedimiento de modelos no lineales mixtos (PROC NLMIXED) de SAS (SAS, 2008) y extraeremos los valores ajustados de los parámetros del modelo para ingresarlos luego en los casilleros correspondientes. La función de MilkBot es no lineal y consta de 4 parámetros; el parámetro a llamado escala el cual es un multiplicador que determina la magnitud total de la producción de leche y se expresa en l/día. El parámetro b , rampa, controla la velocidad del incremento de la producción de leche en la lactancia temprana y se expresa en días. El parámetro c , desplazamiento, representa el desplazamiento en tiempo entre el momento del parto y el momento en que se da la mayor tasa de incremento en la producción de leche; se expresa en días. Por último, el parámetro d o decaimiento, el cual controla la pérdida de la capacidad productiva y se expresa como días-1.

En la Figura 4.7 se observa que las curvas ajustadas para cada tipo de tambo resultaron similares entre los tambos C1 y C3 y entre C2 y C4 como era de esperarse, ya que la producción de leche fue uno de los criterios de clasificación de los tambos. En la primera lactancia, en ambos grupos de tambos, los litros al pico y los litros acumulados a los 305 días en lactancia se espera sean menores con respecto a las lactancias superiores.

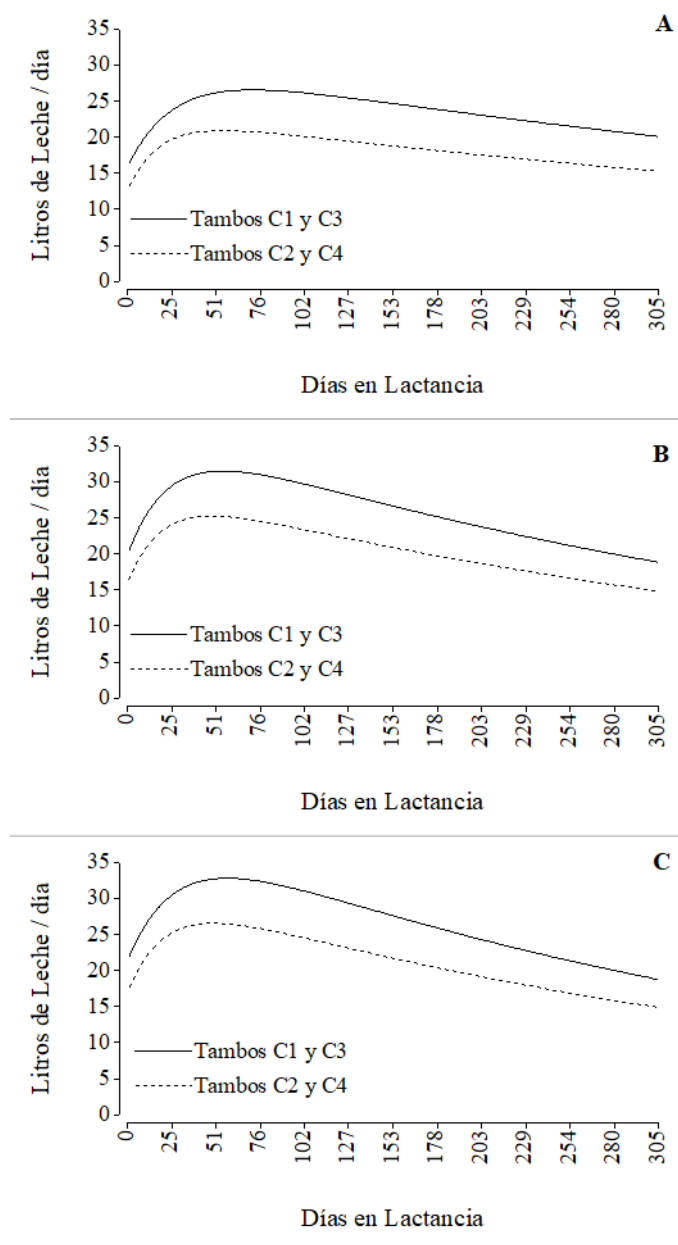


Figura 4.7: Curvas de lactancia ajustadas para la primera (A), segunda (B) y tercera lactancia (C) para todos los tambos

4.7 Costos y valores de mercado

Entre los costos y ganancias que se deben ingresar en el modelo al momento de hacer el análisis, se encuentran: peso promedio de las vacas en ordeño (libras/animal); Contenido promedio de grasa butirosa en la leche (%); meses promedio a los cuales se secan los animales; el precio de la leche (US\$/libra); el costo de una vaquillona de reposición (US\$/animal); el costo del programa reproductivo utilizado (US\$/vaca/21d), teniendo en cuenta los costos de labores para las inyecciones reproductivas, el costo de la detección de celos (DC), el costo de inseminación artificial (IA) dependiendo de cada escenario. El costo de los trabajos de inyecciones es el valor estimado del trabajo por hora de un personal de campo que haga ese trabajo. Para el costo de la IA, se incluye el costo del semen y la mano de obra adicional necesaria para realizar la inseminación. También, se debe ingresar el precio de mercado de un ternero/a al parto de 50Kg (US\$/animal) y de una vaca descarte. El valor de descarte es el retorno estimado que se obtiene por la venta de una vaca como carne (US\$/animal). Por último, las ganancias de la producción de leche descontando el costo de la alimentación. El costo de la alimentación se define como el costo de un kilo de materia seca de la alimentación proporcionada a las vacas en ordeño. Este costo se expresa en US\$/libra MS e incluye todos los costos de compra o producción del alimento dentro del mismo campo (incluye costo de oportunidad de la tierra) y de reparto. Los valores económicos usados en la implementación del modelo con el ejemplo fueron tomados del mercado y calculados para la situación económica Argentina a Marzo del año 2019 (Tabla 4.6).

Tabla 4.6: Valores de mercado, expresados en dólares estadounidenses, para la situación económica Argentina al mes de Marzo del año 2019

Sistema de Producción	Producción leche (l/VO/d)	
	25	20.5
Precio Leche (US\$/l)	0.12	0.12
Costo Alimentación (US\$/libra)	0.04	0.03
Precio Vaquillona Preñada (US\$/a)	1000.00	762.50
Precio Vaca Descarte (US\$/a)	500.00	500.00
Precio Ternera 50 kg (US\$)	150.00	100.00
Costo del Programa Reproductivo (US\$/a/21 d)	4.50	3.50

Tabla 4.7: Parámetros para el cálculo del costo de la alimentación para un sistema de producción de 25 l/VO/día (us\$/kg. MS promedio).

Sistema de Producción	Producción leche (l/VO/d)
Dieta	
Silo de maíz (kg. MF)	23.50
Heno alfalfa (kg. MF)	1.00
Pastura alfalfa (kg. MF)	28.00
Maíz molido (kg. MF)	5.15
Pellet de soja (kg. MF)	2.90
Pellet de girasol (kg. MF)	0.75
Cáscara de soja (kg. MF)	0.90
Minerales (kg. MF)	0.30
Afrechillo trigo (kg. MF)	0.00
Total kg. MF (MF)	62.50
Consumo de Materia Seca (kg. MS/VO/d)	0.58
Costo Alimento por día (US\$/VO/d)	1.92
Conversión (kg. Leche/kg. MS)	1.06

4.8 Retorno neto

4.8.1 Interpretación de resultados

Cuando se procede a correr el modelo una vez terminado el ingreso de cada ítem, en cada solapa, en el modelo bioeconómico, se obtiene el retorno neto de cada vaca en el rodeo en un tiempo específico y es calculado como la sumatoria de los siguientes factores económicos: ingreso sobre los costos de alimentación, costos por posible descarte, costos por posible mortandad, ingresos por posibles terneros y terneras, y costos reproductivos. Una vez que la población de animales en la cadena de Markov converge y se conoce la distribución de animales en diferentes estadios, se calcula el retorno neto del rodeo, multiplicando la proporción de animales en cada estadio por el retorno neto estimado en cada estadio. El retorno neto del rodeo es entonces el reflejo de la eficiencia reproductiva y consecuentemente, se puede estudiar, de esta manera el valor económico de mejorar la eficiencia reproductiva y/o productiva siguiendo el mismo proceso con diferentes eficiencias reproductivas y productivas. Las comparaciones de los resultados del retorno neto, se pueden hacer a nivel de rodeo por mes y día y a nivel de vaca por año.

Los resultados que nos arroja para cada tipo de tambo se encuentra en la Tabla 4.8. El costo reproductivo que posee una vaca por año es mayor en el tipo de tambo C1 (-21 US\$), siguiéndolo el C2 (-19 US\$), el C3 (-18 US\$) y por último el C4 (-17 US\$). La diferencia en el costo reproductivo por vaca por año en un tambo con una producción promedio de 25 litros/vaca y una tasa de preñez promedio anual del 18 %, versus un tambo con el mismo desempeño productivo, pero con una tasa de preñez anual del 13 %

fue de 3 US\$, que equivalen a 25 litros de leche actuales (3 US\$/0.12 US\$/l leche). El tambo de menor desempeño reproductivo, perdió de ganar US\$ 342, equivalente a 2815 litros de leche actuales por vaca por año según el retorno neto final (l leche). El tipo de sistema de producción C1, genera un mayor ingreso total final por vaca por año (US\$ 1608), ya que los costos de reemplazo y mortandad no son los más altos, el retorno que obtiene por parte de la venta de los terneros y terneras es el más alto de los sistemas y a su vez el ingreso que obtiene de la producción de leche descontando el costo de la alimentación es el más alto de los sistemas. Si bien la producción del sistema C3 es igual a la del sistema C1, tiene menores ganancias finales. Debido a que no tiene mayor inversión en reproducción, obteniendo de esa manera menores tasas de preñez promedio, el costo de reemplazo y mortandad es mayor que el sistema C1 y el retorno por los terneros también es menor, como así también el ingreso por la producción de leche sobre el costo de alimentación.

Tabla 4.8: Costos e ingresos por vaca por año (US\$/vaca/año) para cada tipo de tambo

Costos e Ingresos	Clasificación de los Tambos			
	C1	C2	C3	C4
Ingreso leche sobre costos de Alimentación	1585	1237	1518	1267
Costo de reemplazo y mortandad	-51	-36	-61	-48
Costo reproductivo	-21	-19	-18	-17
Retorno de terneras/os	95	72	89	63
Retorno Neto Total	1608	1254	1528	1265

Nota:
C1: Tambos de 25 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez, C2: Tambos de 20.5 l/día/vaca y 18 % de tasa de preñez, C3: Tambos de 25 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez, C4: Tambos de 20.5 l/día/vaca y 13 % de tasa de preñez

4.9 Implementación del modelo bioeconómico

4.9.1 Paso 1. Ingreso a la aplicación

Ir a la página <http://dairymgt.info/markov/reader.php> y completar cada uno de los ítems o solapas. En la solapa Overview encontrarán una breve descripción de cómo trabaja el modelo.

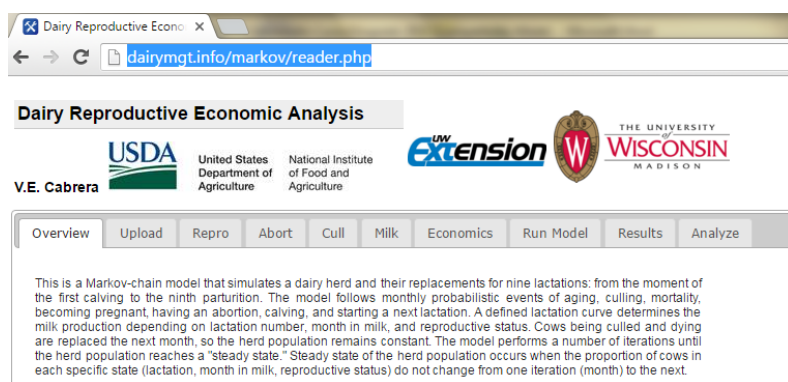


Figura 4.8: Ingreso a la aplicación

4.9.2 Paso 2. Descargar archivo de referencia o trabajar directamente en las solapas

Una vez en la página, hay dos opciones para rellenar todos los parámetros necesarios para correr el modelo bioeconómico. Una es ingresándolos a mano solapa por solapa, o la segunda opción es descargando un archivo de referencia de la solapa Upload, de formato Excel, en donde colocaremos todos los indicadores productivos y reproductivos que estimaremos de nuestro rodeo.

Dairy Reproductive Economic Analysis

V.E. Cabrera

USDA United States Department of Agriculture National Institute of Food and Agriculture

UW Extension THE UNIVERSITY of WISCONSIN MADISON

Overview Upload **Repro** Abort Cull Milk Economics Run Model Results Analyze

Download Parameter Excel File

Download Parameters File

Upload Parameters as Excel File

Upload the Excel File: Choose File No file chosen Upload

Current File/Data Status

Using Data from Default Parameters File on Server

Figura 4.9: Lectura de datos

4.9.3 Paso 3. Ingreso de los indicadores reproductivos

Probabilidad de preñez

En la solapa repro, se debe ingresar los cálculos de probabilidades de preñez que calculamos con las tablas de vida previamente. Y el costo calculado del programa reproductivo utilizado (US\$/vaca/21d). Otros ítems a rellenar relacionados a criterios de descarte del tambo, es a los los cuántos meses de lactancia en promedio se decide normalmente dejar de intentar preñar a las vacas. Por último, la producción mínima promedio aceptable que deben tener los animales para no ser descartados.

Probabilidad de aborto

En la siguiente solapa, abort, se debe colocar las probabilidades de aborto extraídas de las tablas de vida previamente calculadas.

OverviewUploadReproAbortCullMilkEconomicsRun ModelResults												
Month in Milk	Lactation 1		Lactation 2		Lactation 3		Lactation 4		Lactation 5		Lactation 6	
	Preg Per Month (%/mo)	Cost Per Month \$/cow/mo	Preg Per Month (%/mo)	Cost Per Month \$/cow/mo	Preg Per Month (%/mo)	Cost Per Month \$/cow/mo	Preg Per Month (%/mo)	Cost Per Month \$/cow/mo	Preg Per Month (%/mo)	Cost Per Month \$/cow/mo	Preg Per Month (%/mo)	Cost Per Month \$/cow/mo
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
3	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
4	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
5	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
6	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
7	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
8	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
9	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
10	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
11	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25	18	25
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Decision Criteria for Reproductive Failure Culling

Month in lactation (threshold) to stop reproductive services (MIM)11

Minimum amount of milk (threshold) produced (lb/cow/day)50

Figura 4.10: Ingreso de indicadores reproductivos para estimar probabilidad de preñez

OverviewUploadReproAbortCullMilkEconomicsRun ModelResultsAnal												
	Abortion rate (% abortion/cow/month in pregnancy)											
	Month in Pregnancy											
	1	2	3	4	5	6	7	8				
Lactation 1	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					
Lactation 2	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					
Lactation 3	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					
Lactation 4	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					
Lactation 5	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					
Lactation 6	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					
Lactation 7	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					
Lactation 8	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					
Lactation 9	0	3.5	2.5	1.5	0.5	0.25	0.1					

Figura 4.11: Ingreso de indicadores reproductivos para estimar probabilidad de aborto

Probabilidad de Descarte

Ingresar las probabilidades de descarte calculados de las tablas de vida. Además, se debe definir dos parámetros adicionales de descarte. Uno de ellos, es la tasa de descarte de vacas preñadas como proporción de la tasa de descarte de las vacas vacías. El otro es la tasa de mortandad como proporción de la tasa de descarte.

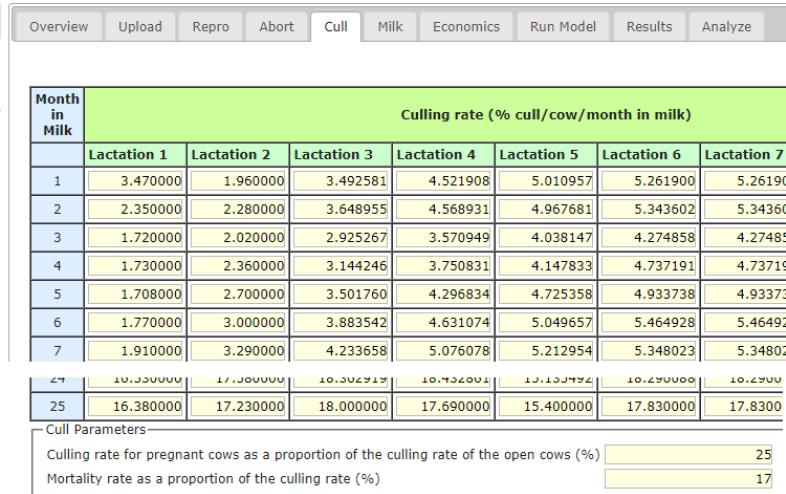
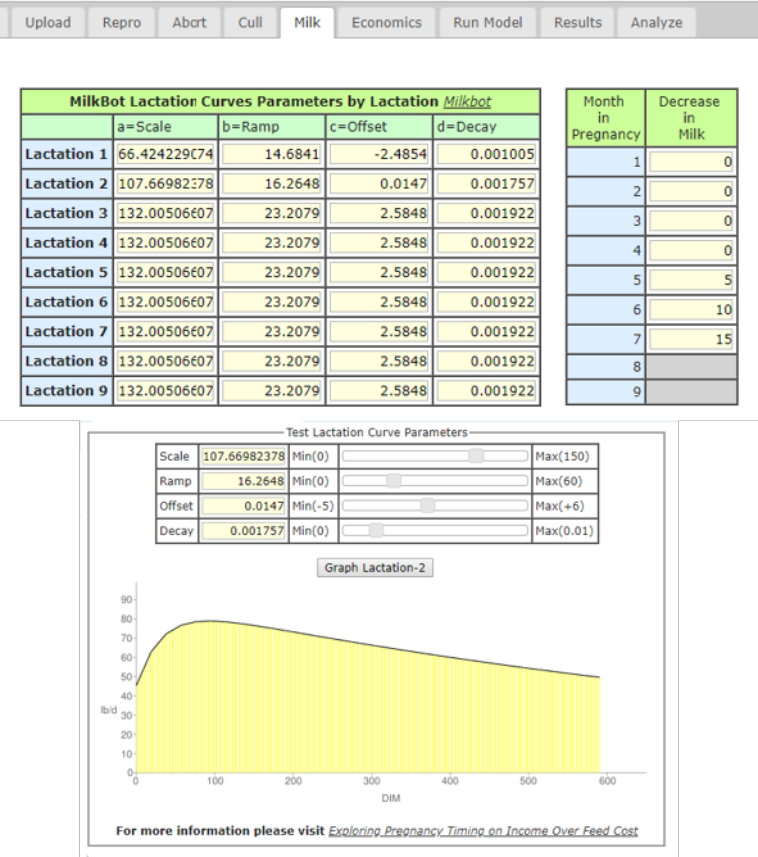


Figura 4.12: Ingreso de indicadores reproductivos para estimar probabilidad de descarte

4.9.4 Paso 4. Ingreso de los indicadores productivos

Colocar en la solapa Milk, los valores de los parámetros calculados del ajuste de las curvas de lactancia con el modelo Milkbot. Y se debe dejar fijo los valores colocados y sugeridos por referencia bibliográfica, de la pérdida de producción de leche en función de los meses de gestación.



OverviewUploadReproAbortCullMilkEconomicsRun ModelResults

Parameters

Body Weight of Lactating Cows

1400

lb/animal

Average Weight of Lactating Animals

Milk FAT Content

3.5

%

Average Butterfat on Milk

Milk Price

0.15

\$/lb milk

Average Price Received

Feed Price

0.1

\$/lb feed

Average Price Received

Heifer Replacement Value

1200

\$/heifer

Average Price paid for Pregnant Heifer

Salvage Value of Culling Animal

600

\$/cow

Average Value Received for culled cow

Born Calf Price

200

\$/animal

Average Value of Newborn

Time for Dry-Off

7

months

Cow will not produce after N months

Figura 4.14: Ingreso de costos

OverviewUploadReproAbortCullMilkEconomicsRun Model

Number of Cows

100

Lactating & Dry

Run Model

Figura 4.15: Ajuste del modelo

4.9.7 Paso 7. Lectura de los resultados

OverviewUploadReproAbortCullMilkEconomicsRun Model

Total Number of Cows	100
Iterations Performed	737
Reached Steady State	YES

	Total Revenues & Costs				
	IOFC	Cull	Repro	Calves	Net Return
\$/herd/month	15128.81	-1353.02	-932.8	1048.08	13891.07
\$/herd/day	504.29	-45.1	-31.09	34.94	463.04
\$/cow/year	1840.67	-164.62	-113.49	127.52	1690.08

Figura 4.16: Implementación del modelo bioeconómico. Resultados. Interpretación

COMENTARIOS FINALES

Este libro tiene como finalidad exponer algunas recomendaciones de cómo se puede utilizar y aprovechar los registros de los tambos. Los tambos y sus gestores necesitan información actualizada y reciente de indicadores que permitan monitorear su actividad y planificar acciones de impacto en el éxito del negocio lechero. Tales indicadores, deberían reflejar lo que ocurre en la población y servir de referencia para saber dónde se ubica cada establecimiento con respecto a la población promedio de una zona o región. En los últimos años, junto con la posibilidad de recopilar y monitorear electrónicamente los registros de los eventos productivos y reproductivos para cada vaca a lo largo de cada lactancia, ha aumentado la disponibilidad de datos para su posterior análisis. Los indicadores productivos y reproductivos calculados a través de diferentes técnicas estadísticas permiten observar variabilidad en eficiencia reproductiva y productiva entre los sistemas productivos, que ponen en evidencia a la importancia de cómo los factores de manejo impactan los resultados económicos. Por lo tanto, resulta conveniente en cualquier sistema productivo evaluar el impacto de la eficiencia productiva y reproductiva desde una perspectiva económica. Para ello, hacen falta registros como la duración promedio de las lactancias y el número de lactancia; la probabilidad del descarte y muerte de animales y el costo del reemplazo, el costo de las biotecnologías reproductivas utilizadas y de la oportunidad de la preñez, el momento del parto y el valor

del ternero, como así también la probabilidad de abortos. Con los datos de ejemplo, se encontró que la diferencia en el costo reproductivo por vaca por año en un tambo con una producción promedio de 25 litros/vaca y una tasa de preñez promedio anual del 18 %, versus un tambo con el mismo desempeño productivo, pero con una tasa de preñez anual del 13 % fue de 15 litros de leche/vaca/año y el tambo de menor desempeño reproductivo, perdió de ganar el monto equivalente a 42 litros de leche por vaca por año.

Referencias Bibliográficas

Borchers, M. R., & Bewley, J. M. (2015). An assessment of producer precision dairy farming technology use, prepurchase considerations, and usefulness. *Journal of Dairy Science*, 98(6), 4198–4205. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8963>

Bradley, A. J. (2002). Bovine mastitis: An evolving disease. *Veterinary Journal*, 164(2), 116–128. <https://doi.org/10.1053/tvj.2002.0724>

Cabrera, V. E., & Giordano, J. O. (2010). Economic decision making for reproduction. *Proc. Dairy Cattle Reproduction Council Convention*, (December), 77–86.

Cabrera, V. E. (2012). A simple formulation and solution to the replacement problem: A practical tool to assess the economic cow value, the value of a new pregnancy, and the cost of a pregnancy loss. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4683–4698. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5214>

Dechow, C. D., Rogers, G. W., Cooper, J. B., Phelps, M. I., & Mosholder, A. L. (2007). Milk, Fat, Protein, Somatic Cell Score, and Days Open Among Holstein, Brown Swiss, and Their Crosses. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3542–3549. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-889>

Ehrlich, J. L. (2011). Quantifying shape of lactation curves , and benchmark curves for common dairy breeds and parities. *The Bovine Practitioner*, 45(1), 88–96. Retrieved

from http://aabp.org/members/publications/2011/prac_feb/16-Ehrlich.pdf

Gargiulo, J. I., Eastwood, C. R., Garcia, S. C., & Lyons, N. A. (2018). Dairy farmers with larger herd sizes adopt more precision dairy technologies. *Journal of Dairy Science*, 101(6), 5466–5473. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13324>

Giordano, J. O., Kalantari, A. S., Fricke, P. M., Wiltbank, M., & C.Cabrera, V. E. (2012). A daily herd Markov-chain model to study the reproductive and economic impact of reproductive programs combining timed artificial insemination and estrus detection. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 5442–5460. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4972>

Halachmi, I., & Guarino, M. (2016). Editorial: Precision livestock farming: a ‘per animal’ approach using advanced monitoring technologies. *Animal*, 10(09), 1482–1483. <https://doi.org/10.1017/s1751731116001142>

John, A. J., Clark, C. E. F., Freeman, M. J., Kerrisk, K. L., Garcia, S. C., & Halachmi, I. (2016). Review: Milking robot utilization , a successful precision livestock farming evolution, 1484–1492. <https://doi.org/10.1017/S1751731116000495>

Lyons, N. A., Kerrisk, K. L., & Garcia, S. C. (2014). Milking frequency management in pasture-based automatic milking systems: A review. *Livestock Science*, 159, 102–116. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.011>

Macciotta, N. P. P., Vicario, D., & Cappio-Borlino, A. (2010). Detection of Different Shapes of Lactation Curve for Milk Yield in Dairy Cattle by Empirical Mathematical Models. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 1178–1191. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)72784-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)72784-3)

Meijering, A., & Hogeveen, H. (n.d.). Edited by: Patel,

G. B., & Blankenagel, G. (2016). Bacterial Counts of Raw Milk and Flavor of the Milk After Pasteurization and Storage. *Journal of Milk and Food Technology*, 35(4), 203–206. <https://doi.org/10.4315/0022-2747-35.4.203>

Pettersson, G., Svennersten-sjaunja, K., & Knight, C. H. (2019). Relationships between milking frequency , lactation persistency and milk yield in Swedish Red heifers and cows milked in a voluntary attendance automatic milking system, (2011). <https://doi.org/10.1017/S0022029911000471>

Piccardi, M., Macchiavelli, R., Funes, A. C., Bó, G. A., & Balzarini, M. (2017). Fitting milk production curves through nonlinear mixed models. *Journal of Dairy Research*, 84(02), 146–153. <https://doi.org/10.1017/s0022029917000085>

Prescott, N. B. (1998). Relative motivations of dairy cows to be milked or fed in a Y-maze and an automatic milking system, 23–33.

Rodenburg, J. (2017). Robotic milking : Technology , farm design , and effects on work flow 1. *Journal of Dairy Science*, 100(9), 7729–7738. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11715>

Rutten, C. J., Velthuis, A. G. J., Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2013). Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 96(4), 1928–1952. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6107>

SAS Institute. 2008. SAS/STAT Software for Windows 9.2. Cary, NC: SAS Institute Inc. Silvestre, A. M., Martins, A. M., Santos, V. A., Ginja, M. M., & Colaço, J. A. (2008). Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows: A full approach. *Livestock Science*, 122(2–3), 308–313. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.09.017>

Sonck, B. R., & Donkers, H. W. J. (1995). The milking capacity of a milking robot. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 62(1), 25–37. <https://doi.org/10.1006/jaer.1995.1060>

Spilke, J., & Fahr, R. (2003). Decision support under the conditions of automatic milking systems using mixed linear models as part of a precision dairy farming concept. *Proceedings of the European Federation for Information Technology in Agricultural*, (July), 780–785. Retrieved from <http://www.efita.net/apps/accesbase/dbsommaire.asp?d=5695&>

Therneau, T. (2012). Mixed Effects Cox Models. R-Package Description., 1–14. <https://doi.org/10.1111/oik.01149>

Vargas, B., Koops, W. J., Herrero, M., & Van Arendonk, J. A. M. (2010). Modeling Extended Lactations of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 83(6), 1371–1380. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(00\)75005-3](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(00)75005-3)

Wood. (1967). Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*, 216, 215–216. Younesi, N. H., Shariati, Mahdi, M., Zerehdaran, S., & Nooghabi, Jabbari Mehdi Løvendahl, P. (2019). Using quantile regression for fitting lactation curve in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 1–6. <https://doi.org/10.1017/s0022029919000013>

Mediciones en el Tambo

Indicadores Productivos y Reproductivos

La serie *Estadística Aplicada* comprende tutoriales para realizar análisis de datos en aplicaciones diversas. La idea es enseñar a implementar la exploración de datos y el ajuste de modelos estadísticos en diferentes escenarios y para resolver problemáticas específicas. Este número trata sobre la obtención y el uso de indicadores para monitorear la producción y el desempeño reproductivo de los animales en un tambo. Se discuten tipos de indicadores y se usan en el contexto de un modelo bioeconómico como ilustración de su aplicación. Los códigos de programa e instrucciones de uso de software se pueden acceder en línea. La publicación ha sido subsidiada por el Programa de apropiación de conocimientos (PAC), mediante la modalidad de proyectos de transferencia de resultados de la investigación y comunicación pública de la ciencia (PROTRI), promovidas por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba.

